



Číslo 1

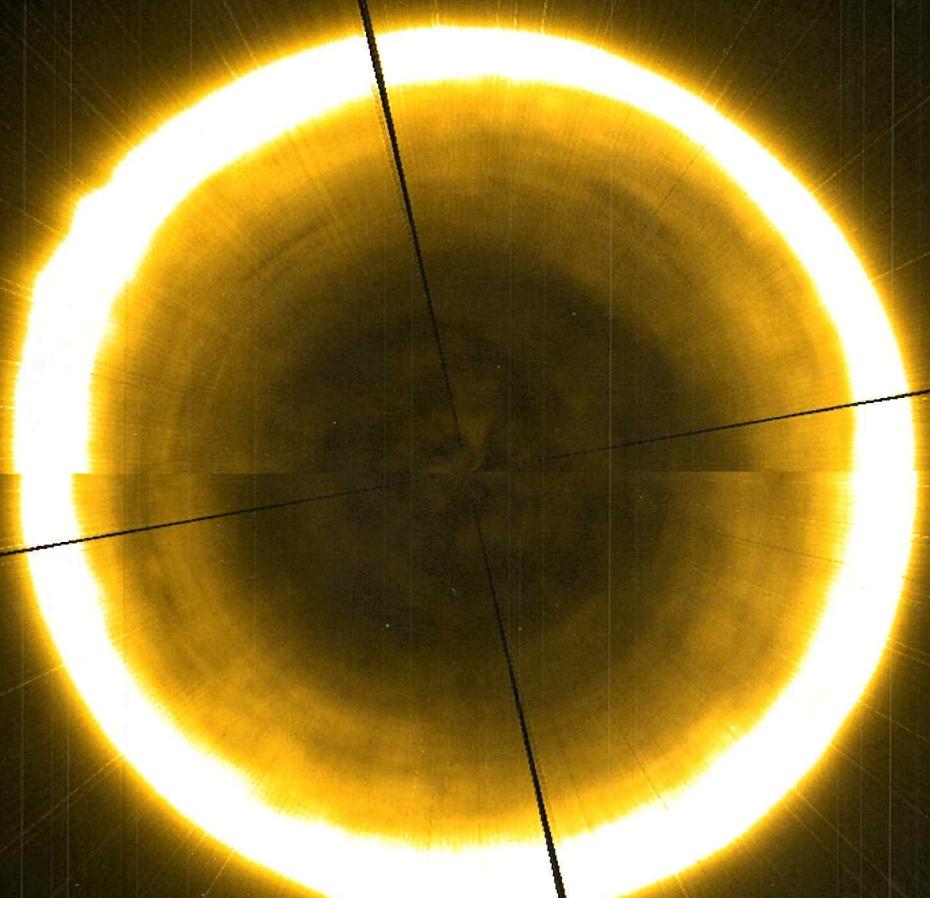
február – marec 2019

Ročník 50

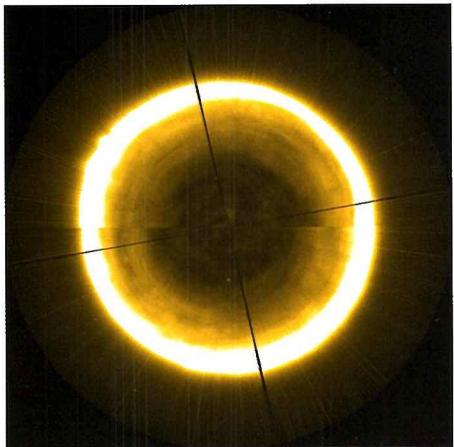
Cena 3,00 €

KOSMOS

- Vyjdú tmavé hviezdy na svetlo?
- Ako štvornožce dobýjali pevninu
- Miliardári v kozmickej aréne



- Svieťme si na cestu...nie na hviezdy 2018



Na obálke vpred:

„Prvý“ obrázok severného pólu Slnka
Tento obrázok bol vytvorený skladaním úzkych výrezov zo snímkov polárnej oblasti Slnka urobených z pozorovania slnečnej koróny v EUV oblasti spektra prístrojom SWAP na družici Proba-2 (ESA) počas polovice doby rotácie Slnka. Proba-2 obieha okolo Zeme a umožňuje snímať celodiskové obrázky Slnka len z roviny obehu Zeme okolo Slnka. Tmavšia oblasť v strede obrázku je koronálna diera.



Na obálke vzadu:

Sonda New Horizons sa na svojej púti do hlbín vesmíru neplánované stretla s asteroidom 2014 MU69 (Ultima Thule). Objavili ho totiž až vtedy, keď už osem rokov letela k Plutu. Riadiace stredisko však zvládlo problémy s navigáciou na výbornú, ako ukazujú snímky záhadného asteroidu. Prvá, z kamery MVIC (Multispectral Visible Imaging Camera), je kombináciou blízkeho infračerveného, červeného a modrého svetla. Stredná z kamery LORRI (Long-Range Reconnaissance Imager) má približne päťkrát vyššie priestorové rozlíšenie, na tretej je záber z LORRI upravený tak, aby sa zvýraznila farebná rovnorodosť oboch častí asteroidu.

FOTO - NASA/JHUAPL/SwRI

Hlavná aktualita

Proba-2 „nahliadla“ do polárnych oblastí Slnka

Ivan Dorotovič s. 3 – 4

Slnečná sústava

Urobila Pluto opäť veľký?

Ján Svoreň s. 5

Hiawatha – obrovský kráter pod grónskym ľadom

Ján Svoreň s. 6 – 7

Vznikol Fobos pri obrovskom impakte?

Ján Svoreň s. 15

Zem

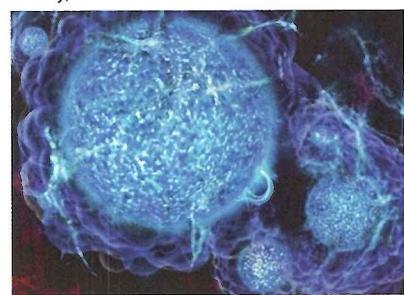
Začína sa obnovovať ozónová vrstva Zeme?

Anna Pribullová s. 33 – 36

Stelárna astronómia

Vyjdú tmavé hviezdy na svetlo?

Astronomy, E. G. s. 10 – 14



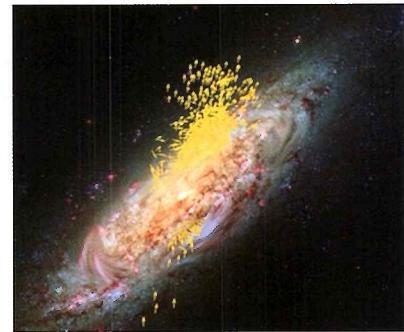
Exotické dvojhviezdy v guľovej hviezdkope 47

Tucanae, E. G. s. 26

Astrofyzika

Galaktické hviezdné vojny

L. H. s. 8 – 9



Viacnásobný kanibalizmus v hustých hviezdkopách

E. G. s. 26 – 27

Slnko

Slnečná aktivity

Ivan Dorotovič s. 37

Reportáz

Niekolko (astronomických) zastavení v Kodani

Peter Poliak s. 23 – 24

Kozmonautika

Bezos, Branson, Musk. Miliardári v kozmickej aréne

Der Spiegel, E. G. s. 21 – 23



Paleobiológia

Ked' štvornože dobily pevninu

Bild der Wissenschaft, E. G. s. 16 – 20

Kozmológia

Overíme gravitačné teórie pomocou tieňa čiernych dier?

E. G. s. 27

Mimozemšťania

Pátranie po mimozemských civilizáciach (3)

Milan Rybanský s. 28 – 29

Súťaže

Svetime si na cestu...nie na hviezdy 2018

Danka Rapavá s. 40 – 43

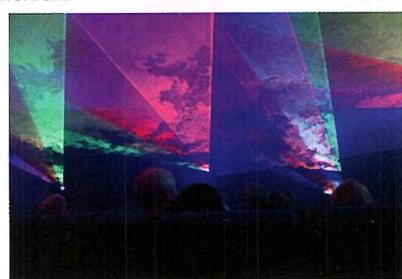
Peking mladých astronómov príjemne prekvapil

Ladislav Hric, Mária Hricová Bartolomejová s. 44 – 45

Udalosti

Astrofilm 2018 tradične v Piešťanoch

Pavol Ďuriš s. 38 – 39



Výročia

100. výročie IAU, L. H. s. 9

Ženy (a dievčatá) v astronómii

Jaroslav Merc s. 24 – 25

Jedenášť kupol Hurbanovskej hvezdárne

Ladislav Pastorek s. 30 – 32

Servis Kozmosu

Obloha v kalendári (február – marec 2019)

Pavol Rapavý s. 46 – 49

Jednoduché astronomické výpočty (6)

Peter Dolinský s. 50 – 51

KOZMOS populárno-vedecký astronomický časopis

Vydáva: Slovenská ústredná hvezdáreň v Hurbanove. Adresa vydavateľa: Slovenská ústredná hvezdáreň, 947 01 Hurbanovo, tel. 035/760 24 84, fax 035/760 24 87. IČO vydavateľa: 00 164 852. Za vydavateľa zodpovedný: generálny riaditeľ SÚH v Hurbanove Mgr. Marián Vidovenec. • **Redakcia:** Eugen Gindl – šéfredaktor, RNDr. Ladislav Hric, CSc. – vedecí redaktor, Michal Ač – redaktor, Daniel Tóth – redaktor, Lídia Priklerová – sekretár redakcie, RNDr. Michal Mojžiš – grafická úprava. Adresa redakcie: Konventná 19, 811 03 Bratislava, tel./fax 02/544 141 33, e-mail kozmos@nextra.sk. • **Redakčná rada:** RNDr. Ivan Dorotovič, CSc., Mgr. Ladislav Druga, doc. RNDr. Rudolf Gális, PhD., RNDr. Drahomír Chochol, DrSc., doc. RNDr. Leonard Kornoš, PhD., doc. RNDr. Ladislav Kulčar, CSc., RNDr. Daniel Očenáš, Mgr. Anna Pribullová, PhD., RNDr. Pavol Rapavý, RNDr. Ján Rybák, CSc. Predseda redakčnej rady: doc. RNDr. Ján Svoreň, DrSc. • **Vychádzka:** 6× do roka. Neobjednané rukopisy nevraciame. • **Cena jedného čísla** 3,00 € (80,00 CZK). Pre abonentov ročne 13,20 € (357 CZK) vrátane poštovného. • **Objednávky na predplatné** prijíma každá pošta. Objednávky do zahraničia vybavuje Slovenská pošta, a. s., Stredisko predplatného tlače, Námestie slobody 27, 810 05 Bratislava 15, e-mail: zahranična.tlac@slposta.sk. • **Predplatiteľ:** V Českej republike A. L. L. Productions, P. O. Box 732, 110 00 Praha 1, tel. 840 306 090, na Slovensku L.K. Permanent s.r.o., p.p. 4, 834 14 Bratislava 34, tel. 00421-02 49 111 204. Podávanie novinových zásielok povolené Riaditeľstvom poštovéj prepravy Bratislava, pošta 12, pod číslom 152/93. V Českej republike rozšíruje A. L. L. Productions, tel. 00420/234 092 851, e-mail: predplatne@predplatne.cz. P. O. Box 732, 110 00 Praha 1. • Podávanie novinových zásielok v ČR bolo povolené Českou poštou, s.p. OZSeč Ústí nad Labem, 19. 1. 1998, pod číslom P-291/98. Indexné číslo: 498 24. • EV 3166/09 • **Tlač:** Ultra print, s.r.o. • Zadané do tlače 15. 1. 2019 • ISSN 0323 – 049

Casopis Kozmos si môžete objednať aj na e-mailovej adresi redakcie kozmos@nextra.sk (uveďte meno, adresu, prípadne telefonický kontakt).

Proba-2 „nahliadla“ do polárnych oblastí Slnka

Dnes už máme k dispozícii obrovské množstvo obrázkov Slnka, ani jeden z nich však neposkytuje pohľad „zhora“ na polárne oblasti našej hviezdy. O niekoľko rokov sa sice dočkáme takýchto obrázkov vďaka sondám Parker Solar Probe a Solar Orbiter, vedci však nezahálali a využili dostupné obrázky z vesmírneho observatória PROBA-2 (ESA) na zodpovedanie otázky: ako vyzerá severný pól Slnka?

Pozemské dalekohľady a väčšina súčasných družíc a sond pozoruje našu hviezdnu z oblasti blízko ekliptiky. Misia Ulysses (NASA/ESA) bola doteraz jediná, v rámci ktorej sonda preletávala nad pólmami Slnka. Cieľom Ulysses však bolo merať parametre slnečného vetra a energetických častic slnečného i me-

dzihviedzneho pôvodu, preto nemala na palube prístroj, ktorý by nám poskytol obrázky. Slnečné póly sú pomerne nepreskúmanými oblasťami atmosféry Slnka; nemáme totiž dosť sond, ktoré by ponad ne preletávali. Časť polárnych oblastí samozrejme môžeme pozorovať aj klasickými prístrojmi zo Zeme, prípadne pomocou súčasnej flotily slnečných pozorovacích prístrojov, ako napr. SWAP na palube družice PROBA-2 (ESA), AIA na SDO a SECCHI na STEREO (NASA). Keďže sú však všetky umiestnené v blízkosti roviny ekliptiky, zachytávajú najmä oblasti s nižšími heliografickými šírkami.

Z povrchu Zeme pozorujeme Slnko vo viditeľnej oblasti spektra, vďaka prístrojom na družiciach sa však slnečná atmosféra dá pozorovať aj v extrémne ultrafialovej (EUV),

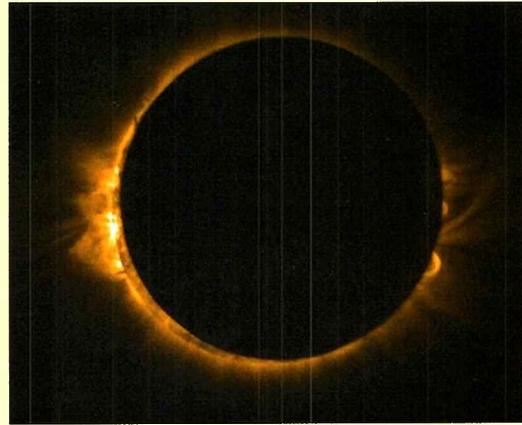
či röntgenovej oblasti spektra. Takéto pozorovania sice odhalujú horúce štruktúry v atmosfére Slnka, no nezobrazujú chladnejšie oblasti bližšie k jeho povrchu, ktoré v tejto oblasti spektra nežiaria.

Čo vlastne vidíme pri pozorovaní Slnka v EUV oblasti spektra? Na to je potrebné stručne vysvetliť pojem optickej hĺbky, ktorá určuje, do akej vzdialenosť môže fotón prechádzať médiom, v našom prípade plazmou. Opticky husté médium je také, kde je fotón po prejdení krátkej vzdialenosť absorbovaný, čo znamená, že materiál na prednej strane média (v smere vstupu fotónu) zakrýva akúkoľvek inú štruktúru, ktorá sa nachádza za ňou. Keď pozorujeme Slnko v EUV oblasti spektra, štruktúry sú opticky riedke, čo znamená, že všetky štruktúry pozdĺž zorného

PROBA-2 (P)ROject for OnBoard Autonomy 2 je družica Zeme, ktorú vypustila ESA v roku 2009. Táto misia bola pôvodne plánovaná iba na dva roky, ale vzhľadom na jej výsledky bola postupne predĺžovaná. V čase písania tohto článku mal autor informáciu o tom, že je zaručené fungovanie sondy do konca roka 2018, ale snáď to bude aj dlhšie. Vedecká užitočná záťaž na palube PROBA-2 pozostáva z dvoch hlavných slnečných prístrojov (SWAP a LYRA – Large Yield Radiometer) a dvoch prístrojov na meranie parametrov prostredia v bezprostrednej blízkosti družice (DSLP – Dual Segmented Langmuir Probe a TPMU – Thermal Plasma Measurement Unit). Pomocou týchto prístrojov sa vedeči snažia identifikovať a študovať všetky javy na Slnku, ktoré by mohli mať dôsledky na slnečno-zemské vzťahy, a to najmä prostredníctvom zobrazovacieho prístroja (SWAP) a pomocou meracieho prístroja (LYRA).

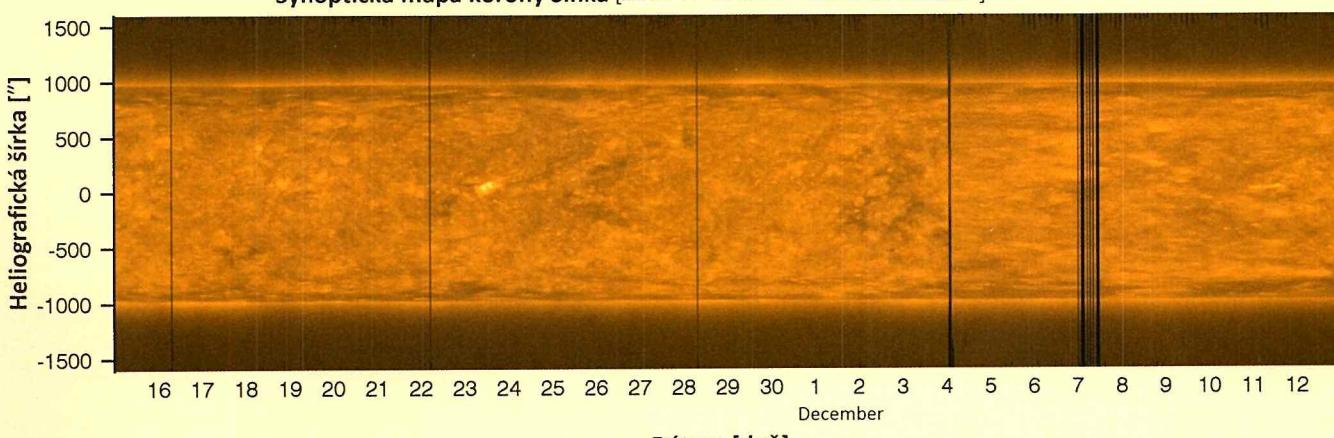
Ďalekohľad SWAP (Sun Watcher using Active Pixel System detector and Image Processing) bol vyvinutý ako jeden zo štyroch vedeckých prístrojov družice PROBA-2. SWAP je priamo odvodený od konceptie ďalekohľadu EIT, ktorý bol vyvinutý pre misiu SOHO v 90-tych rokoch 20. storočia. SWAP poskytuje obrázky slnečnej koróny s kadenciou 1 – 2 minuty získané cez EUV filter s pásom pripustnosti 17,4 nm, čo zodpovedá teplote okolo 1 milión kelvinov. Jeho zorné pole je 54".

Ďalšie informácie: <https://www.cosmos.esa.int/web/proba-2/>

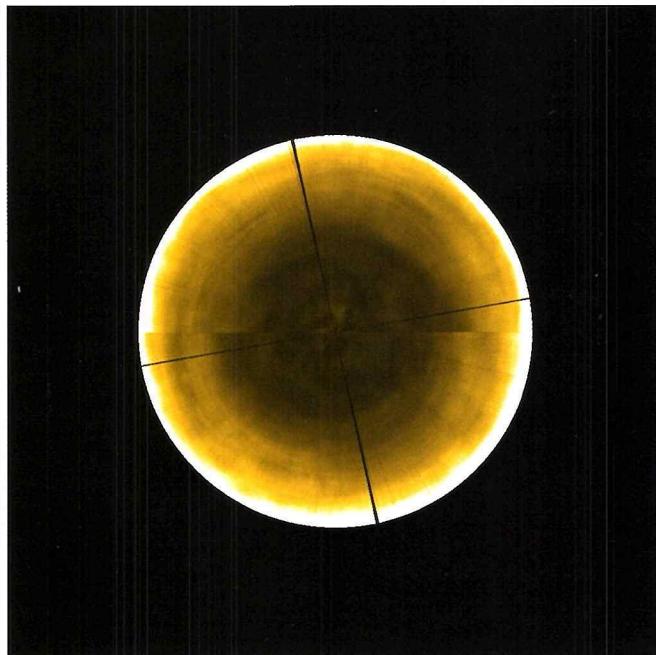


Kým z kontinentálnej Európy sme mohli pozorovať zatmenie Slnka 20. marca 2015 iba ako čiastočné, prístroj SWAP na družici PROBA-2 zaznamenal aj úplné zatmenie.

Synoptická mapa koróny Slnka [2018-11-15 00:00 - 2018-12-12 23:54]



Synoptická mapa koróny Slnka podľa pozorovaní prístroja SWAP. Čierne vertikálne prúžky sú spôsobené nedostupnosťou pozorovaní v danom období.



Pohľad na severný pól Slnka „zhora“ ako výsledok spracovania obrázkov z pozorovania slnečnej koróny v EUV oblasti spektra prístrojom SWAP na družici Proba-2 (ESA) počas polovice doby rotácie Slnka. Na tomto obrázku sú odstránené jasné štruktúry z nižších heliografických šírok, ktoré možno vidieť na obrázku na titulnej strane.

lúča môžu byť viditeľné, ako keby na prednej strane boli aspoň čiastočne priehľadné. Preto, hoci nemôžeme pozorovať slnečný pól priamo, môžeme sa pokúsiť zrekonštruovať to, čo by sme mohli vidieť v polárnych oblastiach pri pohľade „zhora“. Vieme, že keď pozorujeme opticky riedku slnečnú atmosféru, vidíme všetko pozdĺž zorného lúča, a tak v tomto prípade vidíme aj žiarenie horúcej plazmy v polárnej oblasti Slnka.

S využitím údajov z vesmírneho observatória PROBA-2 odborníci vytvorili obraz severného pólu Slnka. Tím odborníkov z PROBA-2 Science Center použil ako základ obrázok získaný prístrojom SWAP, pričom z neho po-nechal len najsevernejšiu časť disku a koróny. Z toho bol získaný jeden prúžok charakterizujúci situáciu v koróne v deň vzniku snímky. Proces sa potom opakoval niekoľkokrát s využitím obrázkov pred a po tomto dni, až kým neboli dostatok údajov na pokrytie pri-bližne polovice doby rotácie Slnka. A z toho bolo možné nakoniec urobiť rekonštrukciu obrazu koróny (*pozri titulnú stranu*). Takáto rekonštrukcia nie je skutočným obrázkom koróny a obsahuje aj nepresnosti, napr. výrazný predel v strede obrázka medzi jeho hornou a dolnou časťou, ktorý je dôsledkom zmien slnečnej atmosféry počas 15 dní pozorova-nia použitých v algoritme; celkom určite je to však to najlepšie, čo máme momentálne k dispozícii.

Podrobnejší opis tejto časovo náročnej metódy, ktorej výsledkom je „otočenie severnej polárnej oblasti Slnka smerom k nám“, nájdeme na stránke <http://proba2.oma.be/Polar-observations>. Denne aktualizované obrázkys sú dostupné na stránke http://proba2.oma.be/swap/data/polar_sun/. Autori metódy, slneční fyzici z Royal Observatory of Belgium v Bruseli, sľubujú, že o niekoľko mesiacov algorit-



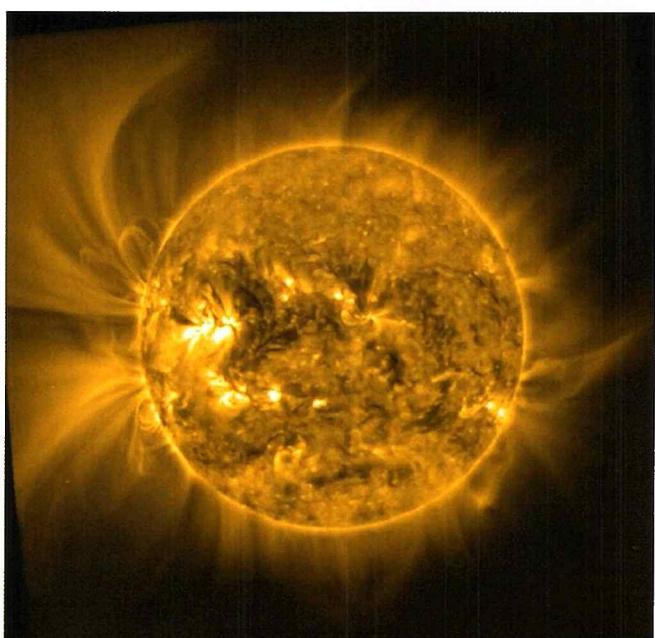
Družica Proba-2 (ESA)

mus vytvárania takých-to obrázkov zdokonalia. Toto však v skutočnosti nie je prvý takýto obrázok polárnych oblastí. Podobné obrázky slneč-

nu (CM)-disku a vzdialenosť navzájom 13° možno zrekonštruovať z údajov 6 dní pred zvoleným dátumom, intenzity pozdĺž CM boli určené ako priemer z dvoch krajných dní a obraz koróny západne od CM možno zrekonštruovať z údajov 6 dní po danom dátume. Na priame obrázky polárnych oblastí Slnka si musíme ešte chvíľu počkať. Uvidíme ich až vďaka sondám Solar Parker Probe, snímky ktorej budú zverejnené už v najbližších mesiacoch, a Solar Orbiter (ESA), štart ktorej sa plánuje na rok 2020.

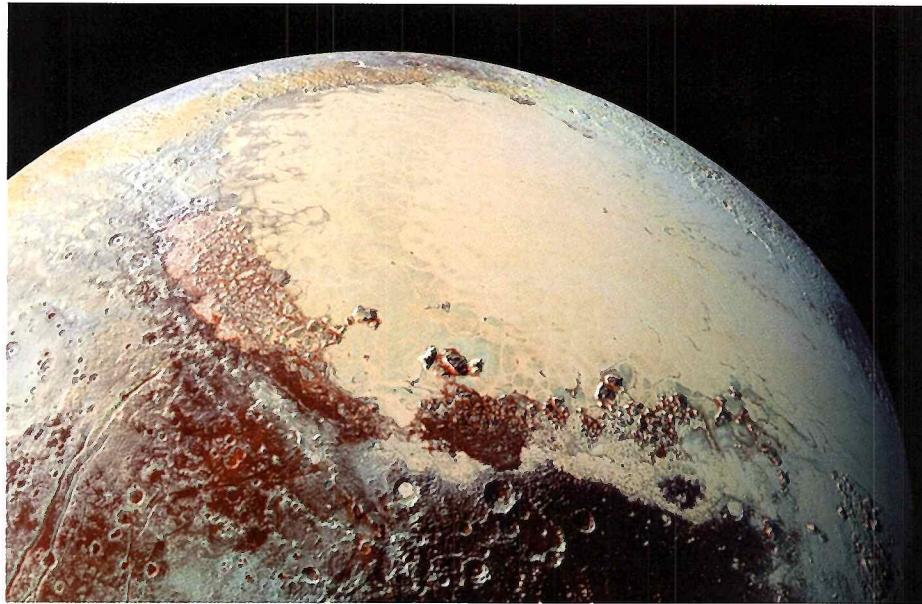
RNDr. Ivan Dorotovič, CSc., SÚH Hurbanovo
(s použitím materiálov ESA/ROB /PROBA 2
Science Center)

Zdroj obrázkov: ESA/Royal Observatory of
Belgium



PROBA2/SWAP 17.4nm 2014-07-25 14:08:14

Koróna Slnka nasnímaná prístrojom SWAP na družici PROBA-2 cez EUV filter 17,4 nm.



Snímka Pluta zo sondy New Horizons počas blízkeho preletu v júli 2015.

Urobme Pluto opäť veľkým?

Urobme Ameriku opäť veľkou. Tento známy slogan Donalda Trumpa má analógiu v planetárnej astronómii. „Urobme Pluto opäť planétou“ sa ozýva z niektorých astronomických kruhov v USA. Povedzme si teda v skratke o čo ide, aké sú dôvody tejto snahy a sance na opätnú zmenu.

Dlhooživený argument o planetárnej podstate Pluta je opäť na svete.

Počas vyše 75 rokov od objavu v roku 1930 bolo Pluto považované za deviatu planétu Slnčnej sústavy. Potom, v roku 2006, Medzinárodná astronomická únia (IAU) na svojom kongrese v Prahe zaviedla nové podmienky pre planéty a Pluto, ktoré ich nespĺňalo, preklasifikovala na trpasličiu planétu.

Podľa novo vytvorenej definícii IAU skutočná planéta musí spĺňať tri kritériá. Po prvej, musí obiehať okolo Slnka a nie okolo iného telesa, mesiace sú teda vylúčené. Po druhé, musí byť dostatočne veľká na to, aby nadobudla svoju vlastnou gravitáciu sférický tvar, ale nie taká veľká, že v jej vnútri sa zapália jadrové reakcie, hviezdy sú teda vylúčené. A po tretie, musí vyčistiť svoje okolie od iných obiehajúcich telies a byť teda v určitej oblasti dominantná.

Pluto nesplnilo poslednú podmienku, pretože v jeho susedstve je množstvo ľadových telies známe ako Edgeworth-Kuiperov pás.

Hned po rozhodnutí IAU sa v Spojených štátach, kde Pluto v roku 1930 Clyde Tombaugh objavil, rozhorel boj za „záchranu“ ich planéty. Topiaci sa aj slamky chytá, preto sa ako hlavný argument proti degradácii Pluta používali najprv novooobjavené exoplanéty. Argument, že Slnko je len modelový prípad pre našu Slnčnú sústavu a pri exoplanetách stačí nahradíť Slnko príslušnou centrálnou hviezdou exoplanetárnej sústavy, kritici nechceli počuť.

Požiadavka vyčistenia svojho okolia sa však

zdala byť nekonzistentná aj pre Alana Sternu, zodpovedného za vedecký program sondy New Horizons, ktorá v júli 2015 preleteala okolo Pluta. A najnovšie vzplanutie väšni má na svedomí práve Stern, ktorý spolu s kolegom Grinspoonom napísali 7. mája do The Washington Post článok s názvom „Aho, Pluto je planéta.“ Napadli tam požiadavku vyčistenia okolia napríklad s pomocou argumentu, že Zem za prvých 500 miliónov rokov nebola planétou, keďže sa pohybovala v roji trosiek. Dvojica namiesto toho navrhla jednoduchšiu, tzv. geofyzikálnu definíciu planéty: planéty sú sférické objekty vo vesmíre, menšie ako hviezdy. Teda dôležité je to, ako teleso vyzerá, a nie ako a v akom prostredí sa pohybuje. Podľa tejto definície je Pluto a ďalšie trpasliče planéty, napr. Ceres a Eris, považované za planétu, rovnako ako veľké mesiace Jupitera – Európa, Ganymed, Io a Kalisto, Saturnov obrovský satelit Titan, nás Mesiac a mnoho ďalších telies. Počet planét Slnčnej sústavy by s použitím tejto geofyzikálnej definície prešiel 110.

Stern zaútočil aj na IAU: „IAU sa skladá prevažne z neoborníkov, astronómov, ktorí študujú čierne diery a galaxie.“ Napodiv najväčší odpor však vyvolal u svojich kolégov študujúcich Slnčnú sústavu.

Akceptovanie takejto širokej definície si ľahko predstaví. Napr. astrofyzik Ethan Siegel tvrdí: „Evolúcia kozmického telesa je dô-

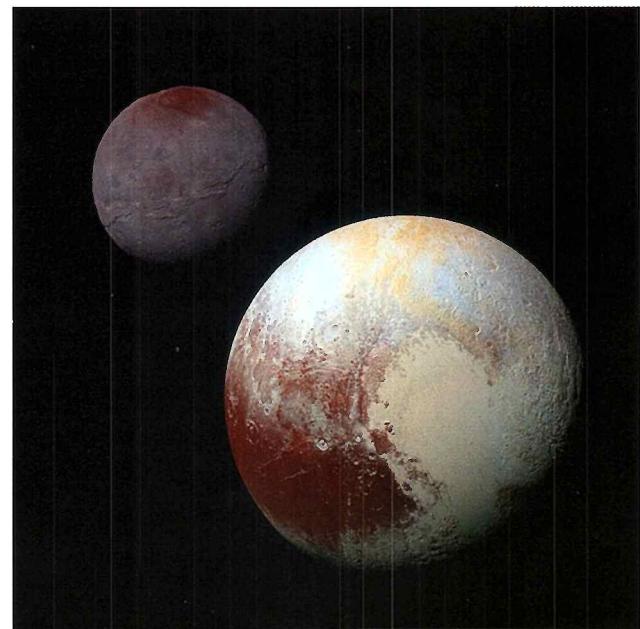
ležitá pre pochopenie jeho povahy. Jednoduchým faktom je, že odkedy objavili Pluto, nikdy nebolo na rovnakej úrovni ako ostatných osiem planét. Rezolúcia IAU v roku 2006 bola len neúplným pokusom túto chybu opraviť. Geofyzikálna definícia je krokom v opačnom smere, teda krokom k väčšej chybe, ktorá spôsobí, že definícia bude pre väčšinu ľudí, ktorí ju používajú, bezvýznamná.“

Jasný názor na kampaň má aj Mike Brown z Caltechu, objaviteľ niekoľkých objektov Edgeworthovho-Kuiperovho pásu: „Pluto stále nie je planétou, v skutočnosti ľou ani nikdy nebolo, len sme to nechápalí, teraz vieme viac. Nostalgia naozaj nie je veľmi dobrý argument pre Pluto ako planétu, ale nič realnejšie v prospech tohto názoru nemáme.“

Philip Metzger publikoval v časopise Icarus (to je to pravé miesto na vedeckú diskusiu) názor, že dráha telesa by mala byť pri definovaní planéty menej dôležitá ako iné klasifikačné detaily. Prikláňa sa ku geofyzikálnej definícii a hovorí: „Pluto... má podzemný oceán, viacvrstvovú atmosféru, organické zlúčeniny, dôkaz starovekých jazier a viac mesiacov.“

Pri takýchto rozporných stanoviskách je jasné, že konsenzus potrebny na zmenu sa rýchlo nedosiahne. Rozhodnúť musia odborné argumenty a nie kampaň v The Washington Post. Napriek silným vyhláseniam z oboch strán sa zdá, že pravda je niekde uprostred. Samotný sférický tvar nie je dobrým kritériom, lebo je zreteľný rozdiel v postavení v Slnčnej sústave napr. medzi Merkúrom a mesiacom Titán, hoci tento mesiac je väčší ako Merkúr. Ale dráhové kritériá tiež nemôžu byť celkom rigorózne, lebo telesá v planetárnych sústavách migrujú a vzájomná konfigurácia sa mení. Možno nám riešenie nakoniec ukážu exoplánety. Rozmanité planetárne sústavy môžu byť impulzom pre nájdenie všeobecne akceptovateľného kritéria pre definíciu planéty.

Obrázky prevzaté z materiálov NASA/JHU-APL/SwRI



Pluto a Cháron, jeho najväčší mesiac.

Hiawatha – obrovský kráter pod grónskym ľadom



Medzinárodný tím výskumníkov objavil veľký meteorický impaktný kráter, skrytý pod ľadom v severozápadnom Grónsku. Je to prvý objavený kráter pod grónskymi ľadovcami vôbec. Hĺbkou približne 300 metrov a priemerom vyše 31 km patrí k 25 najväčším kráterom na Zemi.

Skupina vedená vedcami z Kodaňského centra pre geogenetiku v Dánskom prírodovednom múzeu objav pôvodne urobila v roku 2015 pomocou údajov NASA a počas troch rokov pracovala na jeho overení. Teraz oňom vedci informovali v novembrovom čísle časopisu *Science Advances*.

Kampaň IceBridge

IceBridge (v preklade ľadový most) je projekt zameraný na monitorovanie zaľadnenia na zemskom povrchu, najmä ľadovcov a morského ľadu polárnych oblastí. IceBridge je doteraz najväčší letecký prieskum polárneho ľadu. Výsledkom je predtým neznámy trojrozmerný pohľad na ľadovce, ľadový šelf a morský ľad v Arktíde a v Antarktíde. Tieto lety poskytujú každoročne pomocou prístrojov na palubách lietadiel údaje o rýchlych zmenách charakteristík grónskeho a antarktického ľadu.

Údaje zozbierané počas projektu IceBridge pomôžu vedeckomu preklenutiu medzera medzi pozorovaniami polárnych oblastí družicami NASA Ice, Cloud and land Elevation Satellite (ICESat-1) vypustenou v roku 2003 (zber údajov ukončila v roku 2009) a ICESat-2, vypustenou 15. septembra 2018 s plánovanou aktivitou do septembra 2021.

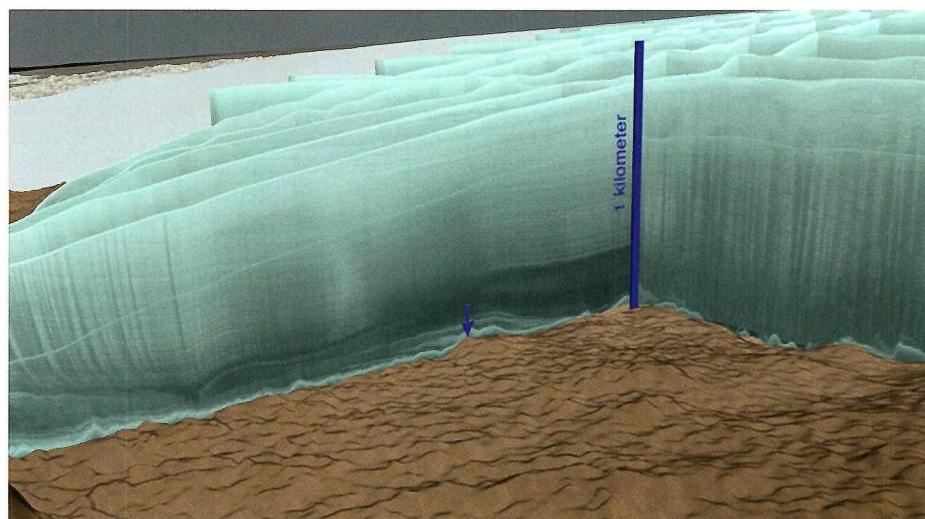
IceBridge tak zabezpečuje nepretržitú sé-

riu pozorovaní polárneho ľadu. Lety v rámci kampane sa uskutočňujú raz ročne, a to v marci a máji ponad Grónsko a v októbri a novembri nad Antarktidou. Niektoré ďalšie menšie letecké prieskumy po celom svete sú tiež súčasťou projektu IceBridge.

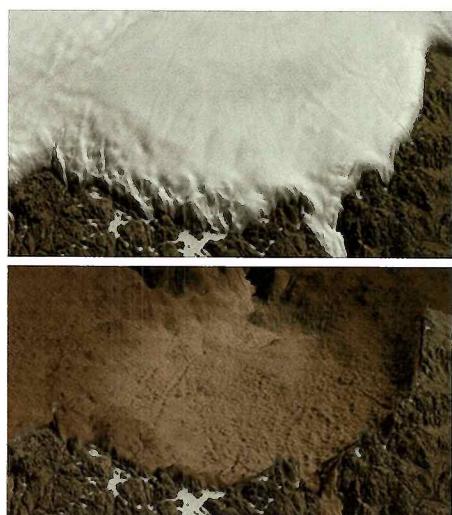
Cieľom kampane NASA IceBridge je zobraziť polárny ľad v maximálnych detailoch, čo umožní lepšie pochopiť procesy, ktoré spájajú polárne oblasti s globálnym klimatickým systémom. Na určenie každoročných zmien hrúbky polárneho ľadu IceBridge využíva špecializovanú flotilu výskumných lietadiel. Údaje slúžia aj na predpovedanie reakcie polárneho ľadu na zmenu klímy a následné zvýšenie morskej hladiny.

Kráter Hiawatha

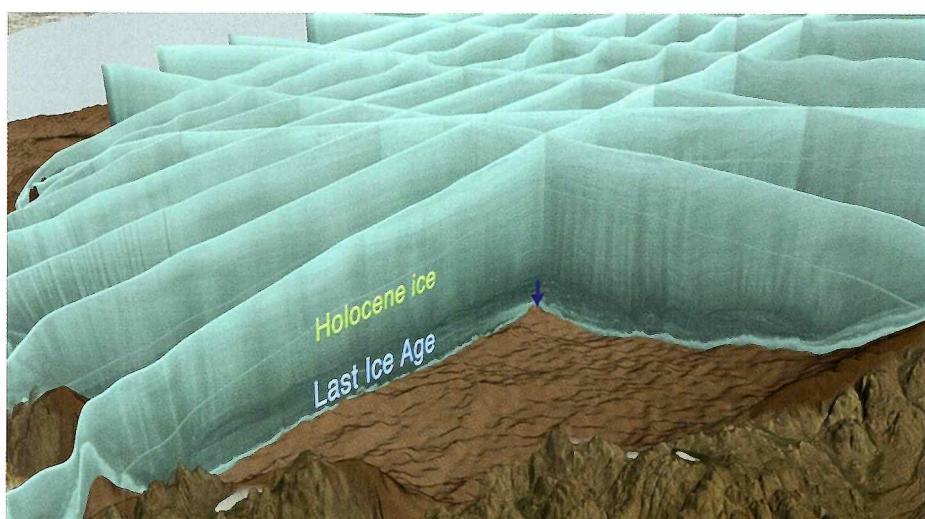
Výskumníci prvýkrát zaznamenali kráter v júli 2015, počas prehliadky novej topografickej mapy zemského povrchu pod ľadovým príkrovom Grónska (topografická mapa zobrazuje polohopis a výškopis určitého územia). Na mape, ktorá vznikla najmä z radarových údajov kampane IceBridge, vedci zaznamenali obrovskú, predtým neobjavenú kruhovú depresiu pod ľadovcom Hiawatha na samom okraji zaľadnenia v severozápadnom Grónsku. Sateliity Terra a Aqua skúmajú najmä kolobeh vody v atmosfére. S ich pomocou vedci preskúmali povrch ľadu v oblasti Hiawatha a rýchlo našli na povrchu ľadu kruhovú



Výsledok radarových meraní z intenzívneho leteckého prieskumu krátera Hiawatha v máji 2016. Modrá šípka ukazuje na stredový vrchol krátera.



Dva pohľady na oblasť krátera Hiawatha: jeden pokrýva pevninský grónsky ľad, druhý zoobrazuje topografiu povrchu pod ľadovou vrstvou, vrátane krátera.



Radarové údaje z leteckého prieskumu krátera Hiawatha. Štítky označujú vrstvy ľadu z holocénu, najmladšieho geologického obdobia štvrtohôr, a poslednej doby ľadovej. Modrá šípka ukazuje na jeden zo stredových vrcholov.



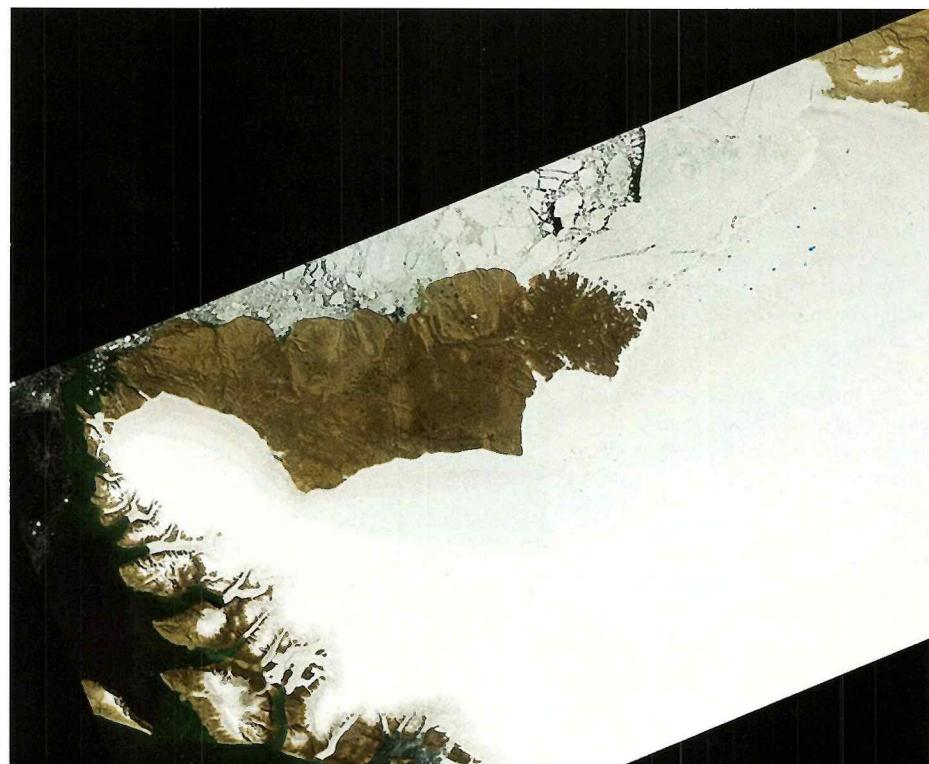
Impaktný kráter Hiawatha (vľavo) je pokrytý pevninským grónskym ľadom, ktorý končí tesne za okrajom krátera a tvorí polkruhovú hranu. Časť tohto okraja (horná časť fotografie) a jazyk ľadu, ktorý porušuje okraj krátera, sú zobrazené na snímke získanej počas kampane NASA IceBridge 17. apríla 2016. Obrázok vpravo zobrazuje počítačové odstránenie ľadu v oblasti Hiawatha. Topografia lôžka pod ľadom jasne ukazuje kráter Hiawatha.

štruktúru, ktorá zodpovedala topografickej mape povrchu pod ľadom. Na potvrdenie objavu bolo v máji 2016 vyslané špeciálne výskumné lietadlo na prelety ponad oblasť Hiawatha a mapovanie radarom, ktorého signály prenikali ľadom a zobrazovali nezaladnený povrch. Prieskum prekonal všetky očakávania a zaznamenal depresiu s ohromujúcimi detailmi: zretelne kruhový okraj, centrálne vyvýšenie, narušené a nenarušené vrstvy ľadu a aj úlomky podložia.

Kráter vznikol po dopade železného meteoritu s priemerom viac ako pol kilometra niekedy v období pred 13 000 až 3 miliónmi rokov. Výslednú depresiu následne pokryl ľad. Na prekvapenie vedcov je kráter mimořiadne dobre zachovaný napriek tomu, že ľad ako veľmi účinný erozívny činiteľ mohol rýchlo odstrániť stopy nárazu. Dobrý stav krátera naznačuje, že mohol vzniknúť počas poslednej ľadovej doby, čím by sa zaradil medzi najmladšie krátery na Zemi.

V lete 2016 a 2017 sa výskumný tím vrátil do oblasti Hiawatha, aby zmapoval tektonické štruktúry v skalnom ústí pri úpatí zaľadnenia a zhromažďoval vzorky sedimentov vyplavovaných z depresie topiacou sa vodou. Niektoré úlomky pochádzajúce z kráteru mali deformačné znaky naznačujúce silný náraz, čo je presvedčivý dôkaz, že depresia pod ľadom Hiawatha je kráterom meteoritu.

Kampaň IceBridge postupne mapuje podložie pod polárnym ľadom do čoraz väčších detailov. Oprávnenne teda môžeme očakávať ďalšie objavy nielen v Grónsku, ale aj na obrovskej ploche Antarktídy. Na obrázku vidíme topografiu antarktického kontinentu bez ľadu a snehu tak, ako ho zobrazil počítač po spracovaní leteckých a družicových meraní.



Mozaika záberov zo satelitu Landsat v oblasti Hiawatha.

10 najväčších meteorických kráterov na Zemi

Kráter Hiawatha je s priemerom 31 km dvadsaťštvrty najväčší kráter na Zemi. V tabuľke uvádzame 10 najväčších.

meno	oblasť	štát	priemer (km)	vek (milióny rokov)
Vredefort	Bloemfontein	Juhoafrická republika	160	2 020
Chicxulub	Yucatán	Mexiko	150	65
Sudbury	Ontário	Kanada	130	1 850
Popigaj	Sibír	Rusko	100	35
Manicouagan	Quebec	Kanada	100	215
Acraman	Južná Austrália	Austrália	90	580
Morokweng	Kalahari	Juhoafrická republika	70	145
Kara	Arktída	Rusko	65	70
Beaverhead	Idaho a Montana	USA	60	600
Tookoonooka	Queensland	Austrália	55	120

Spracované podľa materiálov NASA's Goddard Space Flight Center, Centre for Geogenetics of Natural History Museum of Denmark in Copenhagen a článku v časopise Science Advances.

Galaktické hviezdne vojny

Približne pred 10 miliardami rokov naša Galaxia vybojovala víťaznú hviezdnu vojnu s inou galaxiou. Bitku rozhodla v svoj prospech napriek tomu, že bola iba na začiatku svojho vývoja. Pohlením súpera získala navyše asi štvrtinu svojej pôvodnej hmotnosti.

Pozoruhodné je, že k tomuto vzrušujúcemu záveru došiel holandsko-francúzsky tím vďaka použitiu klasických astrometrických metód.

Hitom súčasnej astrofyziky je už niekoľko rokov objavovanie exoplanét a čoraz detailnejšie štúdium ich vlastností. Ide to ruka v ruke s vývojom stále citlivejších detektorov a, samozrejme, s hľadaním vhodných podmienok pre život, aký poznáme na Zemi. Je to ešte stále beh na dlhé trate, no už dnes je isté, že vznik planetárnych sústav okolo hviezd je zákonitý.

Objav viacerých exoplanét veľmi podobných našej Zemi a navyše nachádzajúcich sa v ekoférah ich hviezd je už iba otázkou času. Bude to dôkaz, že vo vesmíre je veľa miesta pre možnosť života podobnému nášmu pozemskému. Potom však uplynne ešte veľa času, kým sa existencia života mimo Slnečnej sústavy aj potvrdí.

Ešte novším hitom súčasnej astronómie je detekcia gravitačných vln, šíriacich sa celým vesmírom, pomocou obrovských a neuveriteľne citlivých detektorov gravitačných vln. Tieto detektory vskutku otvorili astronómom nové okno do vesmíru a môžu nám priniesť prevratné poznatky o stavbe, vzniku a vývoji vesmíru.

Zdalo sa, že ďalší výskum vesmíru

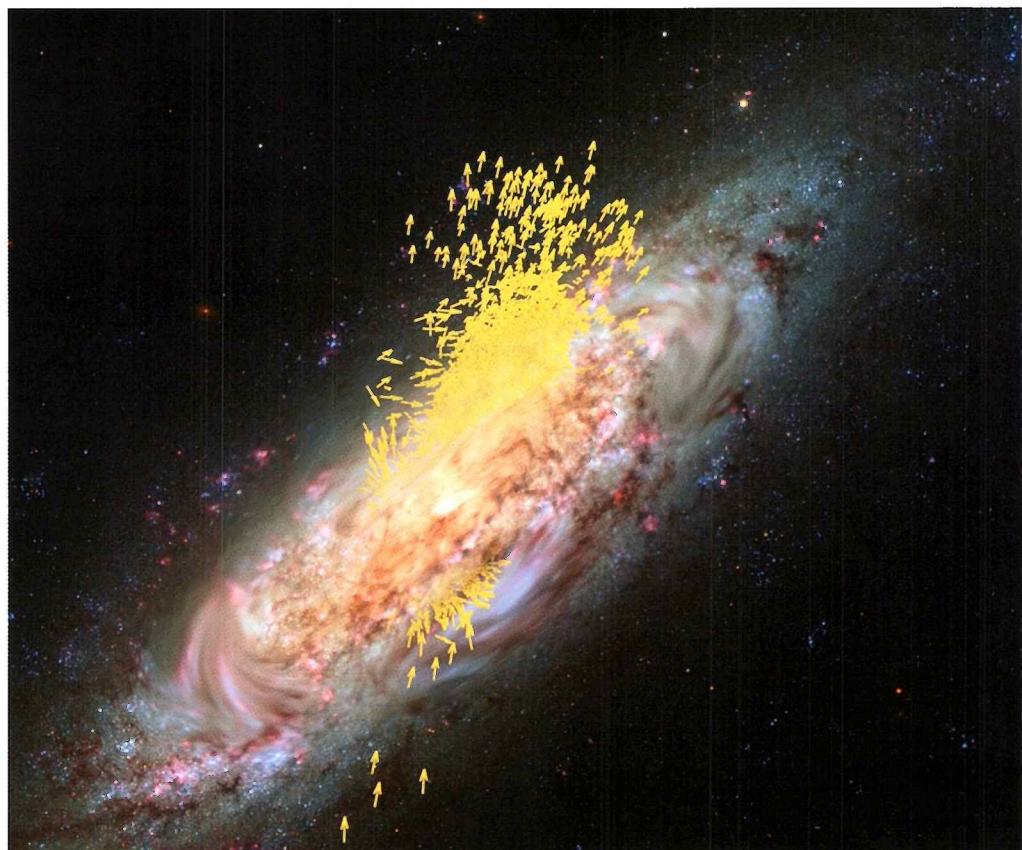
standardnými metódami už nemôže priniesť žiadne veľké prekvapenia, ktoré by sa vyrovnavali najmôdnejším trendom. Opak sa však stal pravdou.

Klasická astrometria stále funkčná

31. októbra 2018 holandskí a francúzski astronómovia publikovali výsledky svojho astrometrického výskumu v časopise *Nature*, ktorý

je najznámejším medzinárodným vedeckým časopisom. Ukázalo sa, že aj klasická astrometria hviezd s vysokou presnosťou, aplikovaná na obrovské množstvo objektov, môže priniesť neuveriteľne vzrušujúci a neočakávaný objav.

Tím astronómov pod vedením Aminy Helmi z Groningennej univerzity v Holandsku použil dátá z družice Gaia. Táto európska



Umelcova predstava pohľadu galaxie Gaia-Enceladus našou Mliečnou cestou. Polohy a pohyby hviezd z Gaia-Enceladus (žlté šípky) pochádzajú z počítačovej simulácie.

→ ANATÓMIA MLIEČNEJ CESTY

Slnko

výduť

guľové hviezdochopy

disk

hviezdné halo

Slnko

www.esa.int

esa

European Space Agency

Predstava štruktúry našej Galaxie.

astrometrická družica bola vypustená v roku 2013 a jej hlavnou úlohou bolo preskúmať asi miliardu hviezd v Galaxii a určiť ich polohy, jasnosť a pohyby. Z tohto súboru dát astronómovia vybrali 7 miliónov hviezd, pre ktoré sú k dispozícii aj skutočné polohy v priestore, tzv. 3D polohy, rýchlosť a smery pohybu.

Na veľké prekvapenie členov tímu sa z tohto obrovského súboru hviezd svojimi vlastnosťami vyčlenilo asi 30 000 hviezd. Tie sa totiž pohybujú po výrazne excentrických dráhach presne opačným smerom ako miliardy hviezd v Galaxii.

V súčasnosti táto skupina hviezd obklopuje Slnečnú sústavu, takže ich môžeme pozorovať na celej oblohe. Ďalšie štúdium ich farieb a jasnosti potvrdilo, že patria do odlišnej hviezdnnej populácie, a preto vzniklo oprávnené podozrenie, že tieto hviezdy sa zrodili v inej galaxii a do tej našej prenikli v štýle „komanda hviezdných vojen“.

Gaia-Enceladus – Atlantída medzi galaxiami

Vedci pre túto pohľtenú galaxiu vybrali meno Gaia-Enceladus po obrovi z gréckej mytológie, ktorý podľa legendy spôsobil zemetrasenie v okolí sopky Etny na Sicílii. Otras, ktorý spôsobila galaxia Gaia-Enceladus, však mal podstatne väčšie rozmery a v Galaxii sa pričinil o vytvorenie hrubého galaktického disku, ktorý dnes obsahuje možno až pätnásť všetkých hviezd Galaxie. Po tomto procese galaxia Gaia-Enceladus zanikla a už nikdy ju nebudem môcť študovať priamymi metódami, akými sa študujú okolité galaxie. V čase kolízie mala hmotnosť približne jednej štvrtiny našej Galaxie.

Už aj pred týmto objavom bolo astronómom jasné, že vývoj galaxií obecne prebieha tak, že obrovské galaxie, akou je aj tá naša, počas svojho vývoja pohlcujú trpasličie galaxie, čím si upevňujú postavenie vďaka zvyšovaniu gravitačného pôsobenia vo svojej extragalaktickej miestnej skupine galaxií. Tento proces sa nazýva aj galaktický kanibalizmus a je nevhodnou záverečnou fázou v procese vzájomných interakcií galaxií. Samozrejme, vďazom sa stáva hmotnejšia galaxia, ktorá svojou obrovskou gravitačnou silou deformuje menšiu galaxiu, až ju nakoniec rozloží a pohltí.

Aj naša Mliečna cesta prešla podobným vývojom a počas svojej existencie pohltila nezistené množstvo trpasličích galaxií. Lenže až do pozoruhodného objavu tímu pod vedením Amíny Helmi sme nemali priamy dôkaz o galaktickom kanibalizme v Galaxii v podobe pozostatku odlišných hviezd. A už vôbec astronómovia netušili, že obeťou kanibalizmu by mohla byť aj galaxia porovnatellejnej hmotnosti. Tieto nové poznatky prinášajú natoľ-

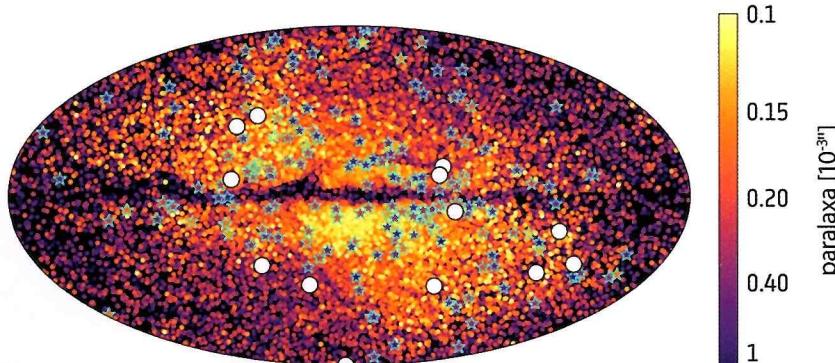
ko zásadný objav z histórie našej Galaxie, že bude potrebné pridať ďalšie pozorovania, aby uvedené závery boli definitívne potvrdené. Už v dohľadnom čase bude možné pre hviezdy z Gaia-Enceladus získať údaje o ich chemickej zložení. Takýto výskum už beží: v rámci pozemského programu APOGEE (Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment) sú získavané aj spektrá študovaných hviezd. Tieto dátá umožňujú určovať ich chemickej zloženie, pričom sa predpokladá, že hviezdy z „komanda hviezdných vojen“ ho budú mať podstatne odlišné. To bude dostačočný dôkaz, že vznikli v inej galaxii, ktorú pohltila Mliečna cesta.

Môžu byť na pomoci aj čierne diery?

A ešte musíme spomenúť ďalšiu indíciu. V Kozmose 6/2018 (str. 10 – 11) sme písali o objave stredne veľkej čiernej diery v jadre Mliečnej cesty. Mohla by byť táto čierna diera tiež pozostatkom po dávnom galaktickom kanibalizme Gaia-Enceladus? Bol by to ďalší dôkaz o správnej interpretácii história vývoja Galaxie. Existuje však aj druhá možnosť. Ak novoobjavená čierna diera nevyhovuje konkrétnej interakcii Galaxie s galaxiou Gaia-Enceladus, je pravdepodobné, že by sme mali v jadre Mliečnej cesty objaviť inú čiernu dieru zodpovedajúcu hmotnosti, ktorá by bola pozostatkom po takomto mohutnom splynutí dvoch galaxií. Toto je otázka a zároveň výzva pre budúcich výskumníkov.

Uvedené informácie svedčia o tom, že aj klasické astronomické metódy výskumu môžu priniesť úžasné objavy. Zásluhu na tom však má neustále spresňovanie meraní a zväčšovanie štatistických súborov skúmaných objektov. Družica Gaia presne splnila svoje poslanie, keď identifikovala a zmerala obrovské množstvo objektov Galaxie. Na základe týchto dát môžu astronómovia študovať a odhalovať história vývoja našej Mliečnej cesty.

L. Hric, SÚH Hurbanovo
fotografie ESA a NASA



Rozloženie hviezd, ktoré sú pozostatkom po galaxii Gaia-Enceladus a dnes sa nachádzajú v sade okolo Slnka. Ich paralaxy (resp. vzdialenosť) sú vyznačené farebne. Biele krúžky označujú gulové hviezdometry, ktoré sa pohybujú spolu s uvedenými hviezdami a tiež pochádzajú z galaxie Gaia-Enceladus podobne ako premenné hviezdy, označené modrými hviezdičkami.

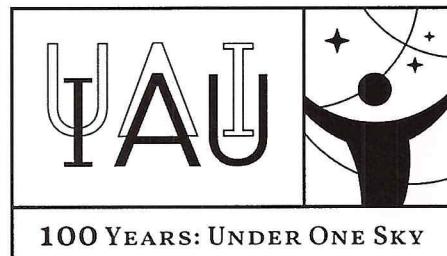
100. výročie IAU

Rok 2019 bude veľmi významný pre celosvetovú astronomickú komunitu, naokolo bude oslavovať 100. výročie založenia svojej najvýznamnejšej medzinárodnej vedeckej organizácie, Medzinárodnej astronomickej únie (IAU, International Astronomical Union). Za dátum jej vzniku môžeme považovať 28. júl 1919, kedy končilo ustanovujúce zhromaždenie medzinárodného vedeckého výboru v Bruseli. Dnes má IAU vyše 13 000 členov na celom svete.

Každé tri roky sa konajú valné zhromaždenia, ktorých sa zúčastňuje približne štvrtina všetkých členov. 30. valné zhromaždenie bolo v roku 2018 koncom augusta vo Viedni. Pri tejto príležitosti v rámci medzinárodnej spolupráce pripravili viaceré vedecké ústavy, svetové observatória a výtvarné štúdio Science Now putovnú výstavu ABOVE AND BEYOND, ktorá mapuje storočie najvýznamnejších astronomických objavov a zároveň nastoluje nevyriešené otázky do budúcich deťaťiaci. Výstava bude putovať po významných svetových mestách, akými sú napríklad Brusel, Garching, Leiden, Londýn, Paríž, Rím a Varšava. O to prekvapujúcejšie je, že z Viedne putovala najprv do našej malej Bratislavu, do Slovenského národného múzea (SNM), do oddelenia Prírodrovédného múzea.

To, že takáto významná medzinárodná výstava odštartovala svoju pút' práve v Bratislave, je zásluha RNDr. Kataríny Maštenovej, ktorá so svojím malým tímom vycestovala do Viedne a vybavila takmer nemožné. A tak sme mali možnosť zúčastiť sa už 22. októbra slávnostnej vernisáže výstavy v SNM na nábreží Dunaja v Bratislave. Po úvodnom slove Dr. Maštenovej prehovorili Mgr. Branislav Panis, generálny riaditeľ SNM a Mgr. Ján Kautman, riaditeľ Prírodrovédného múzea, ktorí zdôraznili veľký význam uvedenej výstavy. Ďalej sa slova ujal prof. RNDr. Jozef Masarik, DrSc., dekan Fakulty matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského, RNDr. Luboš Neslušan, CSc., predseda Slovenského národného výboru pre IAU a konečne RNDr. Ladislav Hric, CSc., predseda Slovenskej astronomickej spoločnosti pri SAV. Po úvodných slovach sme sa konečne mohli pozrieť na výstavu. Aj keď výstava svojím rozsahom nie je veľká, svojim obsahom a myšlienkami zasiahuje už do druhého storočia existencie IAU. Katke patrí podakovanie za krásny zážitok!

L. H.





Vyjdú tmavé hviezdy na svetlo?

Anihilácia tmavej hmoty má na svedomí pozoruhodné veci. Niektoré hviezdy v dôsledku tohto procesu nadobudli také rozmer, že nijaké neskôr sformované hviezdy sa s nimi nemôžu rovnať.

Dávno, pradávno vyzeral vesmír inak. V čase, kedy začali svietiť prvé hviezdy, bol oveľa menší ako dnes. V tomto nepredstaviteľne hustom prostredí sa v mladých galaxiach doslova zbláznila záhadná látka, dnes nazývaná tma-

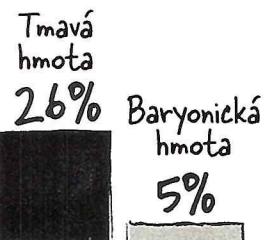
vou hmotou. Vedci sa nazdávajú, že už v týchto extrémnych podmienkach sa formovali tmavé hviezdy.

Pojem „tmavé hviezdy“ je do istej miery zavádzajúci, lebo tieto hviezdy dnes už tmavé nie sú. V skutočnosti ide o najväčšie a najjasnejšie hviezdy nášho vesmíru. Majú však iný zdroj energie ako ostatné hviezdy a mohli by nám prezradíť veľa o skutočnej povahе nášho vesmíru, keby... Keby sme dokázali objaviť aspoň jednu jedinú tmavú hviezdu.

žiarenie, môžeme ju skúmať iba nepriamo, vďaka jej gravitačnému vplyvu na okolie. Napríklad keď spozorujeme, že gravitácia veľkej galaxie v popredí ohýba svetlo prichádzajúce z pozadia.

Podstatu tmavej hmoty vysvetľuje niekoľko teórií. Podľa tej hlavnej sa tmavá hmota skladá z WIMPov, čiže slabo interagujúcich masívnych častíc. Tieto časticie sú prirodzeným produkтом supersymetrie. Táto teória je aj súčasťou akceptovaného štandardného mode-

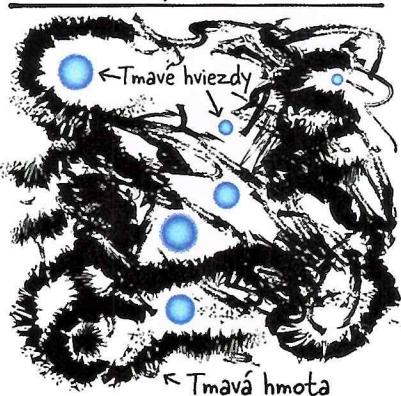
Z ČOHO SA
SKLADA
VESMÍR?



Výhody a nevýhody tmavej hmoty

Všetko, čo v dnešnom vesmíre vidíme, predstavuje sotva 5 % hmoty, ktorá v ňom je v skutočnosti. Väčšinu, 69 %, predstavuje tmavá energia, ktorá nútí vesmír, aby sa čoraz rýchlejšie rozpínal. Tmavá energia však s normálnou hmotou neinteraguje. Ani gravitačne. Náš viditeľný vesmír je zložený z baryonickej hmoty. Zvyšok tohto vesmíru, zhruba 26 %, tvorí tmavá hmota. Podľa niektorých teoretikov preniknú každú sekundu našim telom stovky častic tmavej hmoty. Pre nás to má jednu veľkú výhodu: tieto časticie neinteragujú s baryónmi, z ktorých sa naše telá skladajú, a nemôžu ich teda ani poškodiť. Pre vedcov to však má zjavnú nevýhodu: skúmanie tmavej hmoty je nepredstaviteľne zložité, lebo ju nemáme ako polapíť. Kedže nevydáva svetlo/

MLADÝ VESMÍR



lu časticovej fyziky, ktorý vysvetľuje podstatu základných kozmických sôl aj to, ako časticie navzájom interagujú.

Teória supersymetrie predpokladá, že každý typ časticie má svoj identický, opačne nabitý náprotivok – antičasticu. Keď sa časticia a antičasticia zrazia, kolízia končí „minibangom“. Obe časticie zaniknú v spŕške fotónov, výtrysku energie a v niektorých prípadoch aj nedávno objavených ľahkých častic.

Bola pri zdrode hviezd

Prvé hviezdy sa však nezrodili z noci na ráno. Zhruba 200 miliónov rokov trvalo, kým sa po big bangu začali vytvárať podmienky vhodné na ich formovanie. V tomto procese zohrávala klúčovú rolu tmavá hmota.

Tmavá hmota, riadená gravitáciou a nenarúšovaná interakciou s fotónmi a baryonickou hmotou, bola prvou látkou, schopnou vytvárať zhľuky. Hned po nej vznikla normálna (baryonická) hmota, ktorá sa hromadila okolo „hniezd tmavej hmoty“. Tak sa v pomerne krátkom čase sformovali obrovské zhľuky hmoty, miliónkrát hmotnejšie ako Slnko. Keď tieto minihalá „dozreli“, stali sa maternicami prvej generácie hviezd. Niektoré, s dostatkom hmoty v okolí, sa začali meniť na galaxie.

V tomto období bol vesmír oveľa hustejší a kompaktnejší než dnes, takže partneri WIMPov priebežne navzájom anihilovali za sprievodu energetických výbuchov. Počas tohto obdobia mohli byť WIMPy vymetené do gravitačných zlepencov obrovských oblastí plynu. Tieto oblaky neskôr gravitačne skolabovali a premenili sa na prvé hviezdy, ktoré sa vydali na pút, strhávajúc so sebou aj WIMPy.

Stabilitu hviezd obyčajne zabezpečuje jemné vyladenie sôl: gravitácia strháva hviezdne atómy do stredu hviezd, zatiaľ čo premena vodíka na hélium vytvára tlak, ktorý pôsobí smerom k povrchu.

Anihilujúca tmavá hmota produkuje energiu, ktorá zvyšuje tlak, ktorý vybalansuje dosťredívé pôsobenie gravitácie, a tak uchráni hviezu pred kolapsom ešte predtým, než sa

dosiahnu podmienky na začatie fúznej reakcie.

Iné hviezdy, iné elektrárne

Vo chvíli, keď prvý raz v mladom hustom vesmíre zažiarili hviezdy, by mali mať parametre nášho Slnka. V krátkom čase by sa však (v závislosti od množstva hmoty v okolí) mohli zväčšiť až miliónkrát, pretože „elektráren“ v ich jadre funguje na inom princípe ako v normálnych hviezdach. Tmavé hviezdy mohli byť naťuknutými obrami. Ak by sa na takého obra premenilo naše Slnko, jeho povrch by dosiahol k obežnej dráhe Saturna. Napriek gigantickým rozmerom by tmavé hviezdy nemali obsahovať veľa tmavej hmoty, tvoril ich predovšetkým vodík.

„Podiel tmavej hmoty v nich by nemal prevašovať jedno promile,“ tvrdí Katherine Freese, teoretická astrofyzika z University of Michigan, ktorá je priekopníčkou výskumu tmavých hviezd už vyše desať rokov.

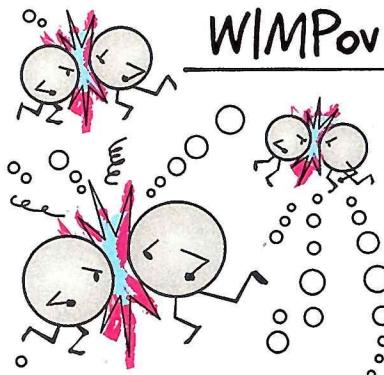
„Aj takéto nepatrne množstvo ‘tmavého paliva’ v tmavej hviezde dokáže ‘vyhrievať’ hviezdu celé milióny, ba miliardy rokov. Ibaže: vo chvíli, keď sa WIMPov vo hviezdnej kotolni minú, tlak zvnútra už nedokáže odolávať sile gravitácie a hvieza začne kolabovať. V menších hviezdach (do 100 M_{sun}) sa rozbehnú termojadrové reakcie, ktoré aktívny vek hviezd o niečo predĺžia.“

V dnešnom rozprávajúcom sa vesmíre je hustota hmoty taká nízka, že nedokáže „krímiť“ hviezdy tak výdatne ako krátko po big bangu.

Spaľovače WIMPov a elixír mladosti

„Existuje tmavá hmota, ktorá preniká Slnkom i Zemou“, tvrdí Freesová. „Ak tmavá hmota vnikne do ‘normálneho telesa’, prenikne až do jeho stredu, kde anihiluje. Nakoľko jej však je len málo, nie je dostatočným zdrojom tepla.“

Zrážky ..



Sprška ľahkých a sekundárnych častíc

Tmavé hviezdy by sa mohli vyskytovať iba v centre galaxií, kde panuje najvyššia hustota tmavej hmoty. Podaktori vedci sa nazdávajú, že v strede galaxií môže byť aj niekoľko „spaľovačov WIMPov“, či už bielych trpaslíkov, alebo neutrónových hviezd. Tieto objekty by mohli zachytiť aspoň toľko tmavej hmoty, aby tvorila čo i len malú časť ich hviezdneho paliva.

Tieto zdroje dodatočnej energie by však mohli zmeniť evolúciu i vzhľad hviezd. Omladili by ich. Je príznačné, že tieto hviezdy na sklonku svojho života vyhasínajú a chladnú. Dodačný zdroj tmavej hmoty ich však natoľko zohrieva, že môžu vyzerat mladšie, než v skutočnosti naozaj sú.

Tieto hviezdy by sa dali pozorovať, keby... Keby sme dokázali aspoň jednu objavíť.

Stopy v mladom kozme

Pravdepodobne všetky tmavé hviezdy raz

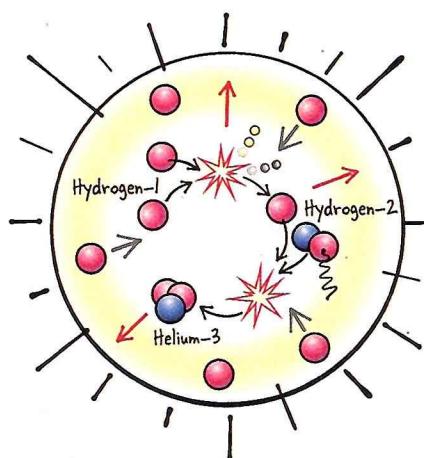


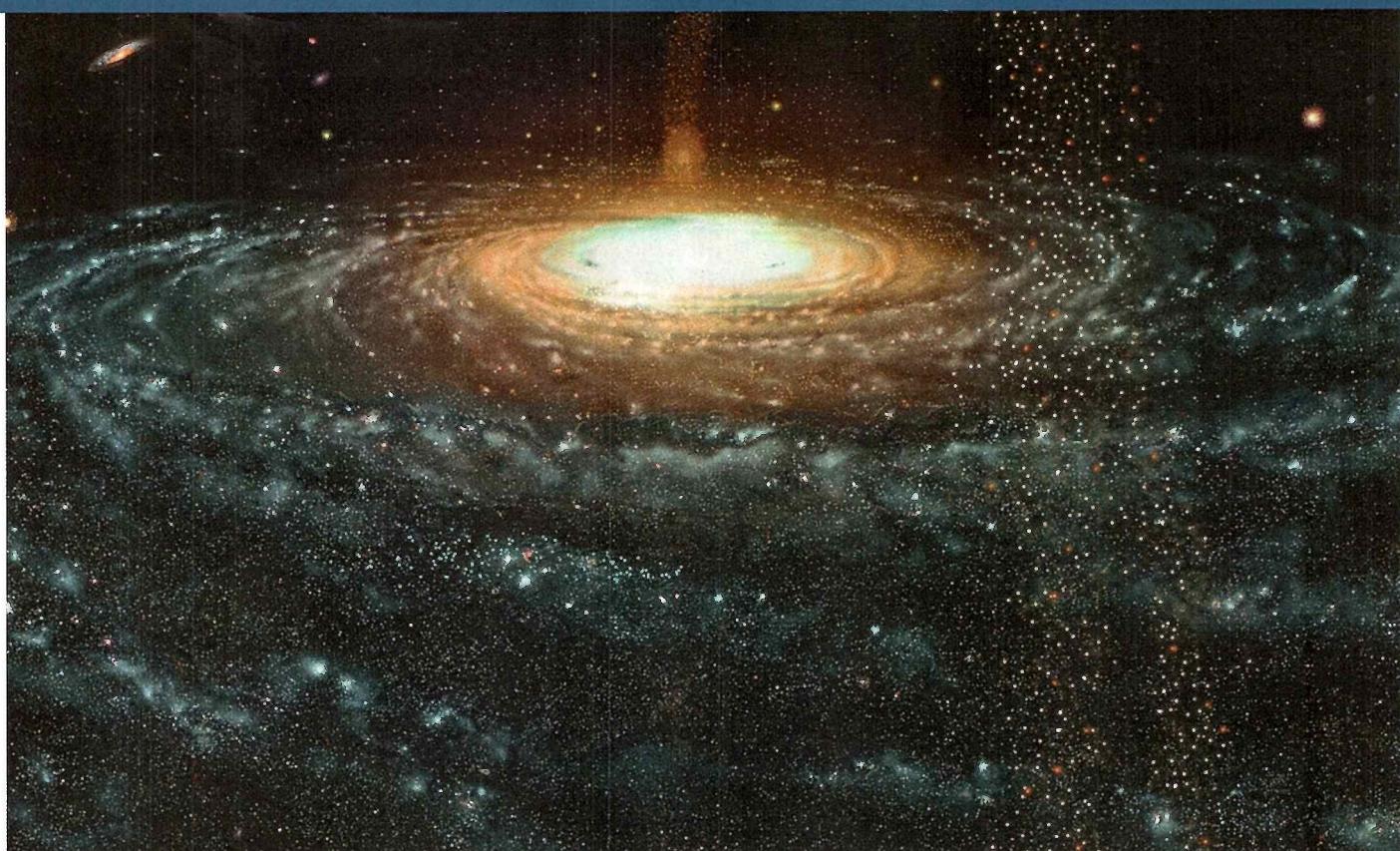
Hviezdokopu Bullet v súhvezdí Kýl tvorí niekoľko kolidujúcich galaxií vo vzdialosti 3,7 miliardy svetelných rokov. Nedávno vedci pomocou gravitačného šošovkovania tejto kopy zistili, že v nej existuje nepomer medzi celkovou a baryonickou hmotnosťou galaxií. Ide o doteraz najsilnejší dôkaz existencie tmavej hmoty (!!), znázornenej na snímke modrou farbou.

NORMÁLNE HVIEZDY

Rovnováha dvoch sôl

Gravitácia → ← Jadrová fúzia





Tmavé hviezdy azda pomôžu objasniť záhadu vzniku superhmotných čiernych dier. Takých, akou je aj tá „naša“ v strede Galaxie. Z platných teórií vyplýva, že čierne diery nemohli nabaľovať hmotu tak rýchlo, aby sa stali supermasívnymi už krátko po big bangu. Podľa iných teoretikov by medzistupňom na ceste ku gigantickým čiernym dieram mohli byť práve hmotné tmavé hviezdy.

skolabujú do čiernej diery. Tieto unikátne stelárne objekty by sa mohli stať klúčom k rozlúšteniu záhady mladého kozmu: aký je pôvod prvých, primordiálnych čiernych dier? Pozorovatelia v mladom vesmíre objavili početné ozrutzne čierne diery s hmotnosťami miliónov až miliárd M_{\odot} . Pochybujú však, že sa superhmotné čierne diery stihli sformovať v tak krátkom čase.

Podľa súčasných teórií čierna diera nemôže vzniknúť rýchlejšie, než to dovoľujú prírodné zákony. Počas prvej miliardy rokov po big bangu sa v rámci „dovolenej rýchlosťi“ nemohli sformovať také superhmotné čierne diery, aké v tomto období pozorujme.

Tmavé hviezdy môžu rásť rýchlejšie ako tie typické a tým vytvoriť aj veľké čierne diery. Semenom pre vytvorenie supermasívnych čiernych dier by mohli byť aj čierne diery, ktoré sa sformovali na sklonku krátkeho života ich hviezdnych rodičov.

Freesová: „Nevieme, či je to tak, no hľadáme riešenie pre tvorbu nadmerných čiernych dier.“

Už prvá tmavá hvieza, v prípade, že by ju

vedci objavili, by im pomohla lepšie pochopiť tmavú hmotu.

Tanja Rindler-Dallerová, astrofyzička z Viedenskej univerzity: „Fyzika tmavých hviezd by mohla poodhaliť podstatu častic tmavej hmoty. Niektoré vlastnosti hviezd priamo závisia od hmotnosti častic tmavej hmoty.“

Rakúšania študujú tmavé hviezdy pomocou počítačových modelov so zvláštnym ohľadom na prípadné pulzácie. Veľa normálnych hviezd periodicky pulzuje a podobne sa môžu správať aj tmavé hviezdy.

Porovnaním rozličných modelov Rakúšania zistili, že odlišné hmotnosti WIMPov by sa prejavovali rozličnými periódami premenlivosti tmavých hviezd. Ak by sme takúto premenlivosť zaznamenali, otvorila by sa cesta k zmeraniu hmotnosti WIMPov.

Pulzovanie tmavých hviezd by mohlo poslužiť aj ako kozmické miľníky. Cefeidy, premenné hviezdy, ktoré dobre poznáme, využívame na meranie vzdialenosí medzi galaxiami. Ibaže: cefeidy nie sú také jasné, aby sme ich mohli rozlíšiť aj v mladom vesmíre, a zmerať ich červený posun.

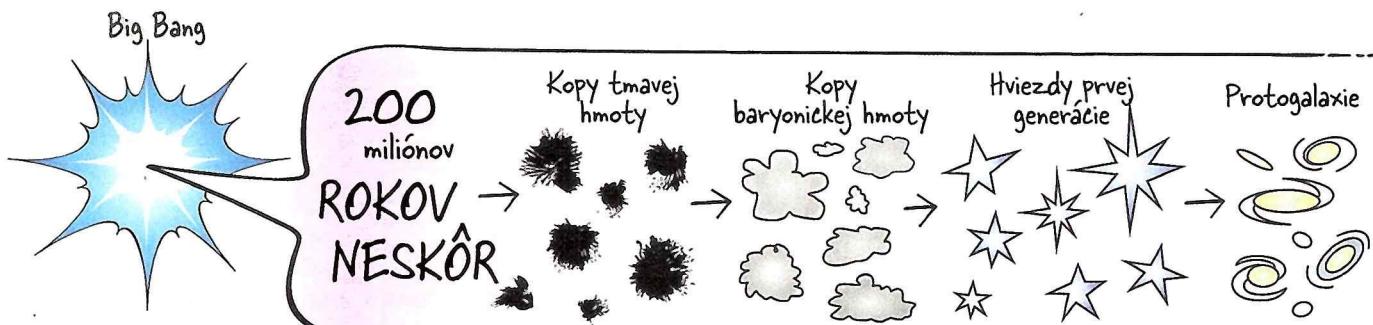
„Tmavé hviezdy by boli spoľahlivejším miľníkom, ale iba vtedy, ak ich podrobne preskúmame,“ vraví Dallerová. „Ak ich raz pochopíme, mohli by sme ich použiť ako indikátor merania vzdialenosí galaxií s veľkým červeným posunom.“

Hoci teória takúto možnosť pripúšťa, vedci by najsúkôr museli objaviť veľa tmavých hviezd. Zatiaľ nemajú v rukách ani jednu.

Šmátranie v temnote

Nijaký súčasný ďalekohľad nedokáže rozlišiť tmavú hviezu v mladom vesmíre. O dva roky budeme na tom lepšie: na obežnú dráhu príbude vesmírny ďalekohľad James Webb (JWST), dokonalejší nasledovník HST. Pomocou 6,5 m primárneho zrkadla a množstva prídavných prístrojov zameraných na infračervené žiarenie dokáže exponovať snímky protogalaxií i tmavých hviezd aj v mladom vesmíre, ak by tam existovali.

S mladým vesmírom sa spája veľa spekulácií, no istota je ešte v nedohľadne. Lenže: štandardné mladé hviezdy bez príavku tmavej hmoty by boli príliš malé a slabé aj pre unikát-



ne „očí“ JWST. Ak by tento ďalekohľad nejaký mimoriadne jasný objekt v rannom vesmíre objavil, najhorúcejším kandidátom by boli tmavé hviezdy. Museli by však byť mimoriadne veľké a jasné.

Freesová: „Ak sa tmavá hmota skladá z WIMPov, som presvedčená, že tmavé hviezdy jesťvujú. Ak tieto hviezdy majú po zdroe parametre Slnka a začali hned nabalovať hmotu, mali by sme vypočítať, akú veľkosť môžu nadobudnúť skôr, ako sa akrécia skončí. Ak sa zastavia po dosiahnutí $100 M_{\odot}$, James Webb ich objaví. Verím, že existujú, ale bojím sa, že za svojho života ich neuvidím.“

Tmavé hviezdy by sa v mladom vesmíre mohli od iných objektov odlišovať aj svojim žiarením. Tmavé hviezdy sú relativne chladné, okolo $9,700^{\circ}\text{C}$ a teda by žiarili na dlhších vlnových dĺžkach ako teplejšie objekty.

Veľká amplitúda pulzov, ako predpovedá

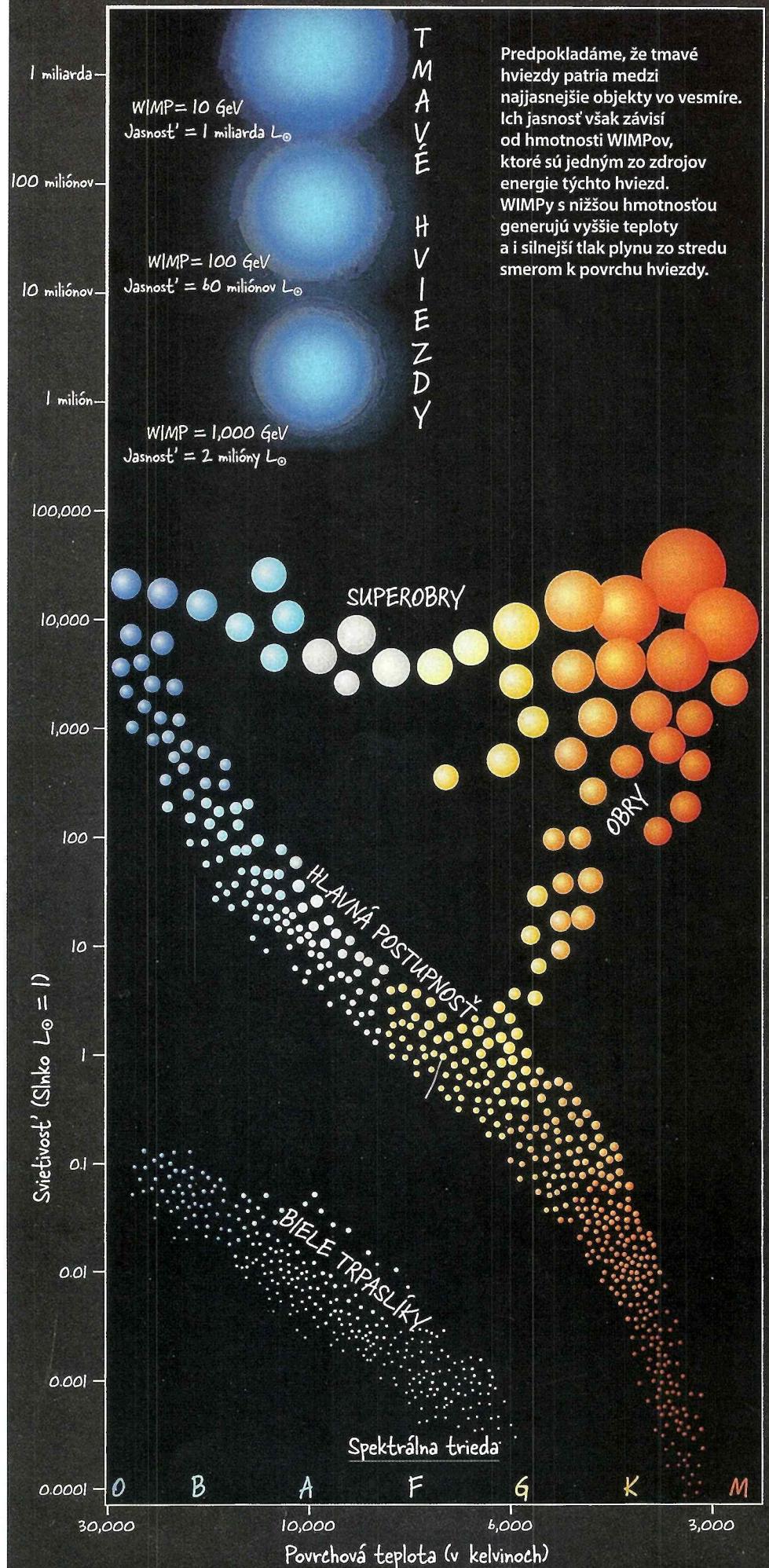


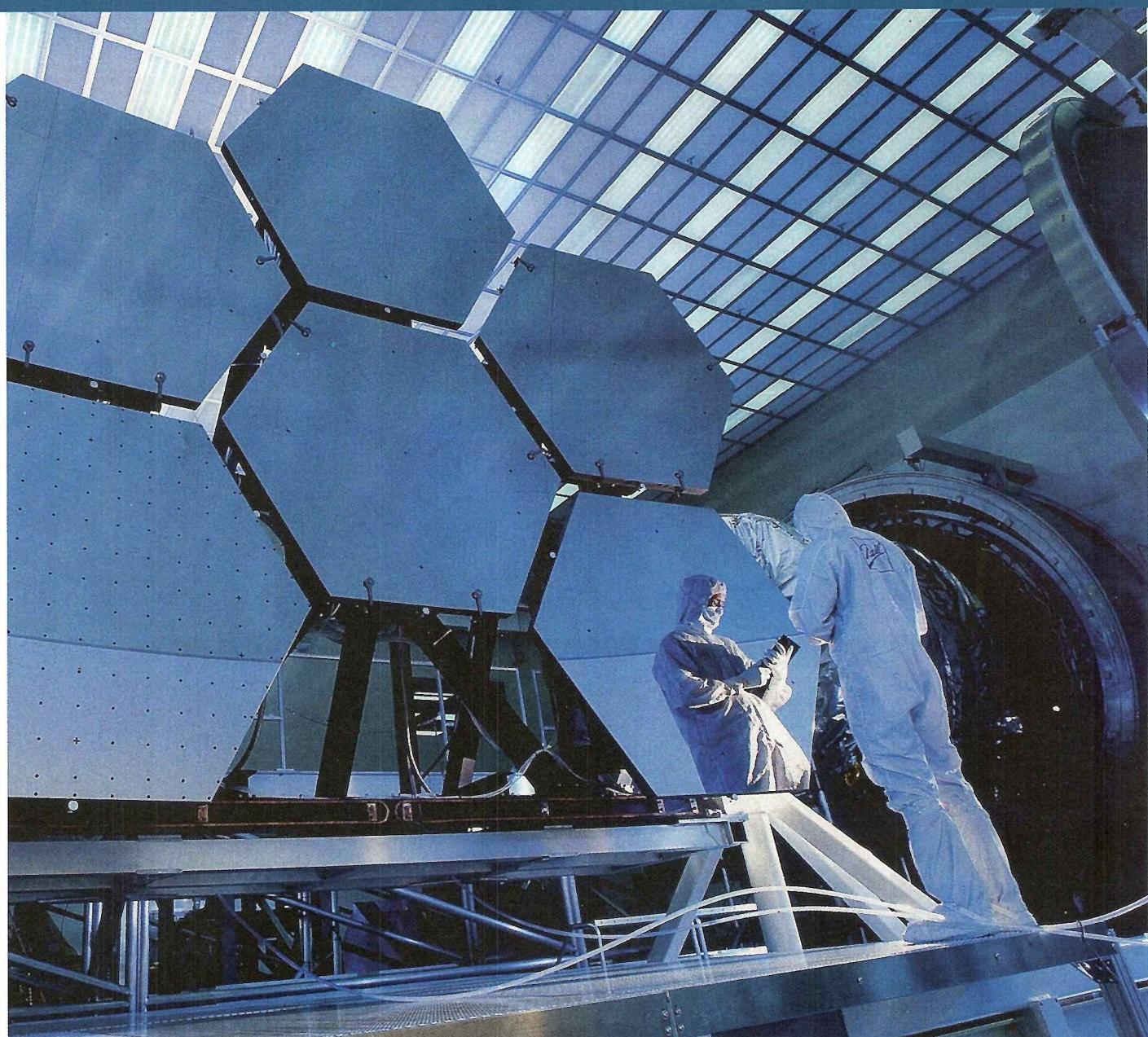
Dallerová, však nie je najspoločnejším znakom, pretože nijaká známa hvieza sa takto nespráva. Je možné, že tmavé hviezdy pulzujú s periódou niekolkých týždňov. Ibaže: kym ich svetlo dorazí k Zemi, rozpínanie vesmíru ho do takej miery natiahne, že pôvodne krátke pulzy sa môžu predĺžiť na stovky dní, ba aj viac. Pozorovanie tmavých hviezd týmto spôsobom sa javí drahé a logisticky náročné, ale na nič lepšie vedci zatiaľ neprišli.

Aj keby vesmírny ďalekohľad James Webb nijaké tmavé hviezdy neobjavil, otvárajú sa ďalšie možnosti. Detektory gravitačných vln, či už LIGO alebo Virgo, sice tmavé hviezdy nedokážu detegovať, ale mohli by aspoň pootvoriť cestu k nim. Ako? Ak dokážu zaznamenať gravitačné vlny z kolidujúcich čiernych diier či neutrónových hviezd, mali by zaznamenať aj zrážku dvoch tmavých hviezd. Ak, pravda, nemajú tieto úkazy iné prejavy ako „mergujúce“, gravitačne splývajúce čierne diery.

Naďale, už sa rodí najnovšia generácia pozemských ďalekohľadov s 30-metrovými zrkadlami. Infračervené detektory na týchto prístrojoch dokážu ľahko preniknúť do hustého, zaprášeného srdca našej Galaxie. Astronómovia by mali objaviť aj staré biele trpaslíky a neutrónové hviezdy (teda ďalšie spaľovače WIMPov), ktoré sa ukrývajú v jadre Mliečnej cesty a ktorých život sa vďaka nabalovaniu tmavej hmoty možno aj niekoľkokrát predĺži.

Tmavé hviezdy svietia jasno





Vesmírny ďalekohľad James Webb vypustia v roku 2021. Rozlišovacia schopnosť tohto prístroja umožní vedcom skúmať aj najvzdialenejšie objekty vo vesmíre, vrátane tmavých hviezd (ak, pravda, existujú). Na snímke vidíte šest z osmnásťich zrkadiel ďalekohľadu, ktorých presný tvar je meraný pri teplote -249°C .

Zachytiať sa mohli dať aj vedľajšie produkty anihilácie WIMPOV. Čierne diery, produkty tmavých hviezd, by mali mať halá z tmavej hmoty. Anihilácia tejto tmavej hmoty by mala

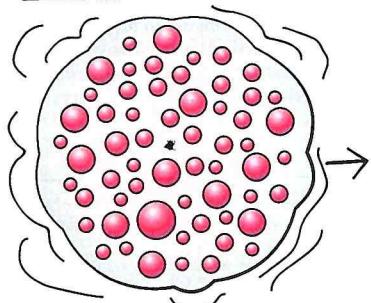
vygenerovať také silné žiarenie gama, že by ho zaznamenal Fermiho vesmírny ďalekohľad, ktorý už viac ako 10 rokov loví z celej oblohy žiarenie s vysokou energiou.

Tmavé hviezdy sú zatiaľ iba teoretickým objektom, ale ich existencia vyplýva z poznatkov reálnej vedy. Možno už onedlho prvú z nich objavíme.

Dallerová: „Časticie tmavej hmoty, z ktorých vyplýva myšlienka tmavej hviezd, je mimoriadne dôležitá. Najprominentnejším kandidátom je WIMP, takže tmavé hviezdy nevyžadujú nijakú exotickú formu tmavej hmoty, o ktorej ešte nik nepočul. Preto pracujeme iba so štandardnými časticami tmavej hmoty, ktoré by sa takto mohli prejaviť na prvých hviezdach.“

Zdá sa, že sa otvára nová, perspektívna disciplína astronómie. Pátranie po tmavých hviezdach je na vzostupe.

Nafuknutý obor Tmavá vodíková hvieza



Tmavá hmota tvorí iba 1/1000 hviezd

0 milióny až miliardy rokov neskôr!



Posledný WIMP bol anihilovaný



Vznikol Fobos pri obrovskom impakte?

Mesiac Marsu Fobos sa mohol vytvoriť počas obrovského nárazu. Nové údaje naznačujú, že mesiac nie je zachyteným asteroidom, ako sa pôvodne predpokladalo, ale kusom červenej planéty.

Kde sa vzali mesiace Marsu? Je to doteraz nevyriešená otázka s dvomi konkurenčnými hypotézami: buď sú to zachytené asteroidy, alebo vznikli akumuláciou hmoty po náraze na Mars. Timothy D. Glotch zo Stony Brook University v USA so 7 spolupracovníkmi publikovali v septembrovom čísle časopisu *Journal of Geophysical Research: Planets* vedeckú prácu, v ktorej sa na základe údajov z teplotného emisného spektrometra sondy Mars Global Surveyor (MGS-TES) prikláňajú k druhej možnosti.

Ide o opakovanú podrobnejšiu analýzu „starých“ pozorovaní v infračervenej oblasti spektra, získaných už v roku 1998, keď sonda preletela okolo mesiaca na ceste na obežnú dráhu okolo Marsu. Zatiaľ čo Fobos má vo viditeľnom a blízkom infračervenom svetle podobné spektrum ako asteroidy triedy D, na stredných infračervených vlnových dĺžkach má jeho spektrum naopak znaky čadiča, teda horniny, tvoriacej väčšinu marsovskej kôry.

V čom je teda problém?

V porovnaní so samotnou planétou sú mesiace Marsu vo viditeľnom svetle tmavé. Tento nesúlad viedol predtým vedcov k záveru, že niekedy v minulosti ich zachytila gravitácia Červenej planéty. Tejto hypotéze nahrávali aj malé hmotnosti mesiacov v porovnaní s materskou planétou.

Problém však vznikol, keď výpočtová technika umožnila skúmať pohyb Fobosu späť na veľkých časových škálach. Z modelovania vyplynulo, že súčasné dynamické charakteristiky Fobosu vylučujú možnosť jeho zachytia Marsom v minulosti.

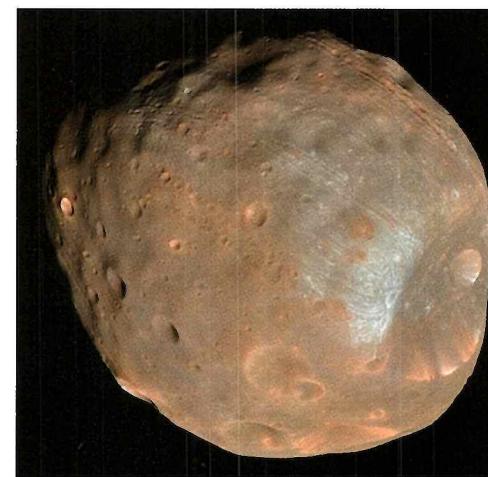
Aby teda vyriešili tajomstvo pôvodu Fobosu,

vedci sa obrátili na spektrálnu analýzu, ktorá im umožňuje zistiť, či sa zloženie mesiaca zhoduje viac s planétou alebo asteroidom. Pozorovania vo viditeľnom svetle hovoria, že Fobos obsahuje uhlík, podobne ako asteroid. Na určenie charakteristík Fobosu v strede infračervenej oblasti spektra, vedci porovnali pozorovania Fobosa spektrometrom MGS-TES s charakteristikami infračerveného žiarenia meteoritu Tagish Lake, ako aj ďalších kamenných vzoriek. Meteorit Tagish Lake je pravdepodobne najlepšie zachovaná vzorka meteoritu na svete a astronómovia veria, že ide o kus asteroidu triedy D – jedna z možností pôvodu Fobosu. Aby zabezpečili presnejšie porovnanie, vedci podrobili skúmané vzorky podobným podmienkam, akým bol podrobený Fobos, vrátane vystavenia chladu aj tepelnému žiareniu vo vákuu. Za týchto podmienok zistili, že meteorit Tagish Lake sa v ničom nepodobá na Fobos a v skutočnosti to, čo najviac zodpovedá Fobosu, alebo aspoň jednému zo znakov spektra, je obyčajný čadič, teda bežná vulkanická hornina, ktorá tvorí aj väčšinu marsovskej kôry. Vyzerá to teda tak, že Fobos by mohol byť pozostatkom udalostí pri formovaní mladého Marsu.

Hľadanie pokračuje

Pribeh sa však takto jednoducho nekončí, stále existujú určité výhrady. Meteorit Tagish Lake pravdepodobne pochádza z asteroidu triedy D, ale má nezvyčajné charakteristiky a nemusí byť najlepším objektom na porovnanie. Fobos bol navyše v priebehu času vystavený kozmickému zvetrávaniu, čím sa jeho spektrum ešte skomplikovalo a je ľahké ho presne porovnať s menej zvetranými vzorkami v laboratóriu.

Planetárni vedci preto predloženú hypotézu nepovažujú za konečné riešenie tajomstva pôvodu mesiacov Fobos a Deimos, ale skôr



Fobos, väčší z dvoch mesiacov Marsu, na obrázku s vysokým rozlíšením získaným sondou NASA Mars Reconnaissance Orbiter.

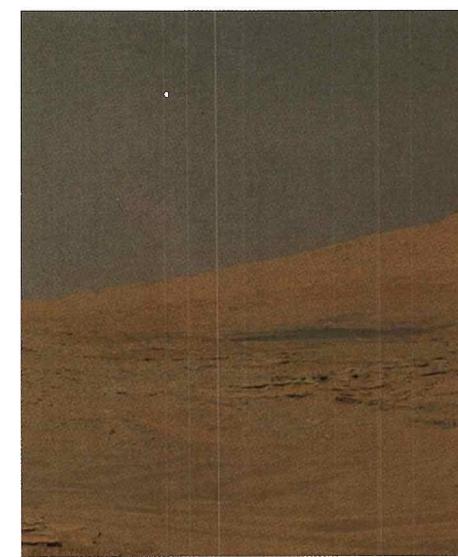
z pomôcku, ako rozvíjať zaujímavú diskusiu o zaujímavom probléme.

Na odpoveď však možno nebude musieť dlho čakať. Naštaste žijeme v dobe, keď už vesmírne misie dokážu odobrať vzorky z asteroidov (sondy Hayabusa 2 a OSIRIS-Rex) a priniesť ich späť na Zem na ďalšie štúdiump. Japonská kozmická agentúra JAXA pripravuje misiu MMX (Martian Moons eXploration), ktorá sa začne v polovici roku 2020. Sonda odoberie vzorku z mesiaca Marsu a dovezie ju na Zem. S takouto vzorkou v rukách by vedci mohli rozhodnúť azda s konečnou platnosťou, odkiaľ vlastne prišli Marsove mesiace a prispieť aj k všeobecne platnej odpovedi na otázku, ako sa mesiace tvoria a dostávajú na stabilné dráhy okolo planét.

Spracované podľa materiálov NASA, JPL-Caltech, University of Arizona, Malin Space Science Systems a článku v časopise Journal of Geophysical Research: Planets.



Sest' pohľadov na Fobos.



Západ Fobosu za horu Aeolis Mons (alias Mount Sharp) na snímke z roviera Curiosity.

Ked' štvornožce dobyli pevninu

Acanthostegy patria medzi prvých dobyvateľov pevniny. Dĺžka ich chrabtice dosahovala 60 centimetrov. Behať ešte nevedeli.

Vedci desaťročia uvažovali o tom, čo sa stalo, keď prvé zvieratá na konci devónu opustili more a postupne sa prispôsobili životu na súši. Paleontológovia iba nedávno objavili fosílie, ktoré im umožnili dôveryhodne rekonštruovať evolúciu života v tom čase.

Pred zhruba 350 miliónmi rokov dnešné Škótsko pokrývali rozsiahle lužné lesy. Táto oblasť, popretkávaná riekami, rašeliniskami a močiarmi, obalovala južné pobrežie kontinentu zvaného Euroamerika. Z hustého porastu prasličiek a papradorastov vyčnievali ozrutné plavúne. Na povrchu pobiehali veľké stonožky a škorpióny. Nečudo, že tento prakontinent ležal na rovníku.

V tých končinách a v tom čase sa odohrali naj-

záhadnejšie udalosti evolúcie spojené s dobývaním kontinentu stavovcami – štvornožými živočíchmi. V škótskych močiaroch prezili predkovia dnešných suchozemských stavovcov svoj, trochu predčasný, zlatý vek. Naučili sa na súši pohybovať, dýchať, žiť, vidieť a počúvať.

To všetko vyplýva z nedávno zverejneného projektu britských vedcov. Dozvedáme sa, ako sa štvornožce, po latinsky *tetrapoda*, prispôsobili životu na pevnine. „Výsadok štvornožcov na pevninu je významou etapou našej evolúcie“, tvrdí Florian Witzmann, paleontológ z berlínskeho Prírodovedného múzea. Špecializuje sa na dýchanie tetrapódov. Ešte donedávna ani on, ani jeho kolegovia nevedeli takmer nič o rozhou-

dujúcich miliónoch rokov, kedy prebiehal výsadok štvornožcov na pevninu.

Prázdne obdobie

Podme však po poriadku: medzi koncom devónu (pred zhruba 359 miliónmi rokov) a polčasom karbónu (pred 240 miliónmi rokov) vedci nijakých štvornožcov neobjavili. Toto obdobie označujú paleontológovia za „Romer's Gap“, čiže za Romerovu medzera. Americký paleontológ Alfred Sherwood Romer (Harvard University) si medzera medzi analyzovanými fosíliami všimol už uprostred 50. rokov uplynulého storočia. Odhadol, že toto „prázdne obdobie“ trvalo 30 miliónov rokov. Neskôr sa ukázalo, že práve táto medzera bola prvým dejstvom dobyvateľskej drámy. Odohrala sa začiatkom karbónu. Nejaké štvornožce na Zemi žili aj pred touto medzrou - napríklad známa ichyostega z Grónska; ich živlom však bola voda. Vedci o tom vedeli už od roku 1990. Tie, ktoré sa objavili po medzere, sa však takmer všetkých rybích znakov vzdali a neobyčajne rýchle sa rozvetvili do rôznorodých druhov, rodov a čeľadí. Niektoré sa pozemskému životu celkom prispôsobili.

Tak kde teda ste, fosílie?

Ako a prečo Romerova medzera vznikla? Nad touto záhadou si paleontológovia lámali hlavy celé desaťročia. Čo mohlo tak brutálne a na také dlhé obdobie zdecimovať počet štvornožcov? Nedostatok kyslíka? A čo štvornožcom tak dlho bránilo prestaňovať sa na pevninu? Alebo možno pripustiť, že sa štvornožce vyvýiali aj v tomto období, žili však v prostredí, kde sa ich pozostatky v sedimentoch mohli uchovať milióny rokov len ľahko? Vylúčiť nemohli ani možnosť, že sa pozostatky najdôležitejších fosílií z tohto výsadku na pevninu zatial nepodarilo nájsť.

Romerova medzera sa uzavrela, nie však z jedného dňa na druhý, ale postupne. V roku 2002 opísala prvú fosíliu zo záhadného prostredia Jennifer Clacková (University of Cambridge).

Na jej stole ležala kostra zhruba 344 miliónov rokov starého štvornožca, nájdená už v roku

Z vody na pevninu: sedem medzníkov evolúcie

Prestavba tela rýb na štvornožce začala hlavou: oči sa zväčšovali a premiestnili sa z bokov hlavy nahor. Plutvy, počnúc chrabtou, neskôr chvostou až po bočné, postupne zakrpateli až do stratena. Chrupavky v končatinách skostnateľi. Úplne sa zmenilo dýchanie: štvornožce mali od začiatku plúca, pomocou ktorých dýchali nad vodou. Sedem vybraných zvierat zobrazujeme v reálnej mierke.

1971 v Škótskom Dumbartone. Objavitelia túto fosíliu považovali za prarybu. Paleobiologička však zistila, že dobre zachované kosti patria obojživelnému tvorovi, ktorý pripomína najskôr krokodíla. Pomenovali ho *Pederpes finneyae*, teda Finneyov skalolez.

O jedenásť rokov neskôr tím britských vedcov pod vedením Clackovej preskúmal okolie miesta, kde skaloleza našli. V rámci projektu TW.eed (Tetrapod World: early evolution and diversification) sa sústredili najmä na nevelmi preskúmané vrstvy spodného škótskeho karbónu. Preskúmali pozostatky pôvodne tropických močarísk, ktoré počas Romerovej medzery pokrývali juhozápad dnešného Škótska. Ich korisť prekonala aj tie najväčšie očakávania.

Vedci opísali päť dovtedy neznámych druhov štvornožcov. A objavili sedem ďalších, ešte starších, ktoré predbežne nedokázali presnejšie identifikovať, pretože zub času väzne poznamenali ich pozostatky. Aj v tomto prípade však išlo o výrazne odlišné druhy.

Prizrite sa lepšie!

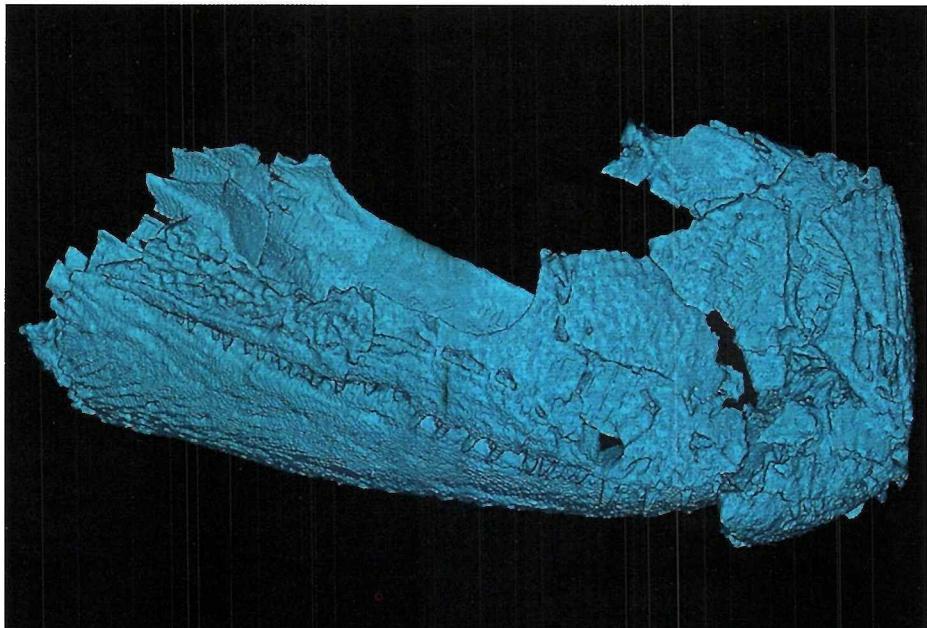
Fosílie zo Škótska svedčia o tom, že fauna tetrapódov bola už vtedy mimoriadne rôznorodá. Ukázalo sa, že Romerova medzera nebola vedeckým faktom, ale fikciou: „Nikomu sa nechcelo dôslednejšie prekutrať tie najdôležitejšie miesta, najdôležitejšie horniny a vrstvy“, tvrdí Clacková. „Totiž nechcel... Až neskôr som si uvedomila, že v spodnom karbóne sa ešte neukladali vrstvy dreva, premenené na uhlie. Usadeniny z tej doby preto nemali komerčnú hodnotu a nedali sa premeniť na zisk. Preto ich poriadne nepreskúmali.“ Po podrobnom prieskume prastarých škótskych močarísk sa ukázalo, že na začiatku karbónu žili prvotné, primitívne i moderné štvornožce. Ba čo viac: istý čas, počas niekoľkých miliónov rokov, tu nažívali spoločne.

Behajúce ryby

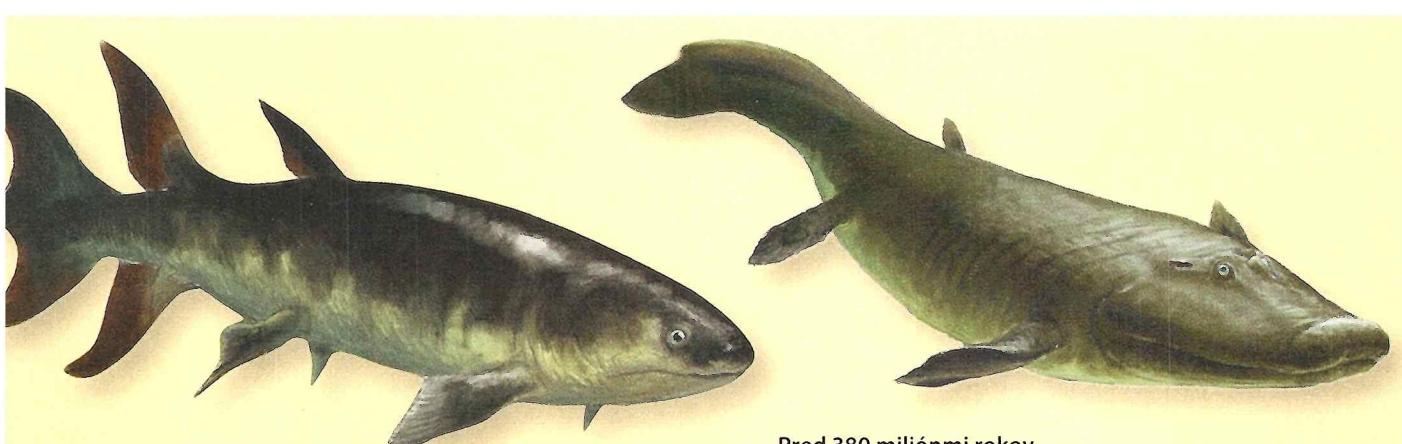
Niekoľko tetrapódov zo škótskych pramočiarov pripomínalo ryby, ktoré pred vyše 10 miliónmi rokov žili v devóne. Iné štvornožce boli oveľa vývinutejšie a pripomínali druhy, obja-



Tím britskej paleobiologičky Jennifer Clackovej vyhrabáva fosílie z dna vyschnutého potoka Whiteadder v Škótsku.



Na tomto mieste našli aj „Tiny“, jedného z prvých obojživelníkov. Lebku Tiny vidíme na snímke z „cétečka“.



Pred cca 385 miliónmi rokami

Eusthenoperon. Približne 100 centimetrov dlhý mäsitoplutvo-vec mal párové plutvy s kostami, ktoré zodpovedajú laktovým a ramenným kostiam v údoch moderných štvornožcov. Viedol celkom obyčajný rybí život.

Pred 380 miliónmi rokami

Tiktaalik rosae. Jediný exemplár tohto viac ako meter dlhého živočícha objavili v roku 2006 v kanadskej Arktíde. Tiktaalik už nemal chrbtovú ani zadné plutvy. Mal však pohyblivý krk aj kĺby v laktoch a zápästiach. Nemal však ešte prsty, ani oddelené palce.



Pred zhruba 365 miliónmi rokov

Ichthyostega. Tento 1,5 metra dlhý vodný živočich, patrí spolu s acantostegou k prvým skutočným štvornožcom. Párové plutvy sa už premenili na končatiny s prstami. Bedro už bolo pevne prepojené s chrbiticou. Nohy ichthyostegy však boli ešte slabé a na súši jej ľažké telo dlhšie neunesli. Každá končatina mala sedem prstov.

vené až v neskorších vrstvách, mladších o 15 až 20 miliónov rokov. Podobné fosílie sa našli aj na kanadskom poloostrove Nové Škótsko (táto časť Severnej Ameriky kedy sú bola súčasťou prakontinentu Euroamerika). Aj tam, v ľažko dostupnej oblasti pobrežia oceánu, objavili fosílie zo spodného karbónu, žiaľ iba v podobe roztratených kostičiek. Tieto nálezy opísal kanadsko-britský tím.

Krehké kostičky vedci identifikovali a poskladali iba horko-ľažko, sú si však načistom: aj v Novom Škótsku sa popri primitívnych, ichtyostegy pripomínajúcich tvoroch, plahočili aj blízki príbuzný druhu *Pederpes finneyae*, ktorí už čulo pobiehali po súši. Vedci usúdili, že masové vymieranie na sklonku devónu postihlo štvornožce oveľa menej ako iné druhy zvierat, z čoho vyplýva, že masové vymie-

ranie pravdepodobne nespôsobil nedostatok kyslíka.

Tiny, fosília z 3D tlačiarne

Súčasťou škótskych fosílií je aj stvorenie, ktorému vedci dali meno Tiny. Nikto ju však na vlastné oči neuzrel. Dotknúť sa môžete iba modelu z 3D tlačiarne, pretože Tiny je súčasťou nenápadnej čiernej usadenej horniny, z ktorej ju nemožno bez nenapravitelných škôd vyslobodiť. Pozostatky malého živočicha (väčšinu lebky, stehenné a niekoľko ďalších kostí) mohli vedci preskúmať iba pomocou röntgenovej tomografie. Zvierajúce sa nazvali *Aytonerpeton microps*, čiže ležúň s malou tvárou z Aytonu, má aj ďalší nezvyčajný znak. Vedci sa nazdávajú, že Tiny je jedným z prvých zástupcov tohto druhu štvor-

nožcov, z ktorých sa neskôr vyvinuli obojživelníky.

Witzmann: „Podľa všetkého sa krátko po začiatku karbónu rozdelili obojživelníky a ďalší druh suchozemských stavovcov. Z druhej vetvy sa postupne vyvinuli plazy, vtáky a cicavce. Na základe analýz pomocou molekulárnej biológie môžeme povedať, že rozdelenie nastalo už pred 355 miliónmi rokmi. To nás prekvapilo.“

O pôvode štvornožcov vedci vedia čoraz viac. Lenže čo týchto tvorov primälo k tomu, aby sa z vody premiestnili na pevninu? Vedci zverejnili niekoľko teórií: na „mokrej súši“ našli tieto zvieratá nielen dostaok potravy, ale aj ochranu pred dravcami, ktorí ich lovili v oceáne. Okrem toho, na suchu mohli klášť vajcia v bezpečnom prostredí. Pravdaže, ani ichtyostega, ani ďalšie z najstarších štvornožcov nedokázali na súši zotvrať dlhšie. Mali príliš slabé nohy, ktorí neunesli váhu ich tel. Navyše mali vo vnútri tela uložené žiabre, ktoré na vzduchu rýchle vysychali.

Witzmann: „S takým vybavením dokázali prekonať nanajvýš vzdialenosť z jedného jazierka do druhého.“

V pravekom kúpalisku

V plochom rašelinisku bolo množstvo barín a jazierok periodicky obnovovaných prílivom. Blízko pobrežia v nich žili ryby, kraby a slimáky, ale tiež aj ichtyostega. V tomto pariacom sa „kúpalisku“ nachádzali dostaok potravy a nemuseli sa báť dravcov. Pancierové ryby na súš vyliezť nedokázali.

Počas Romerovej medzery si museli štvornožce nájsť ďalšie zdroje potravy. Okrem rias sa naučili konzumovať rozkladajúce sa rastliny, článkonožce, najmä pavúky a stonožky, ktoré sa v tomto prostredí udomácnili dávno pred inváziou tetrapódov.

Witzman: „Bolo iba otázkou času, kedy a kým

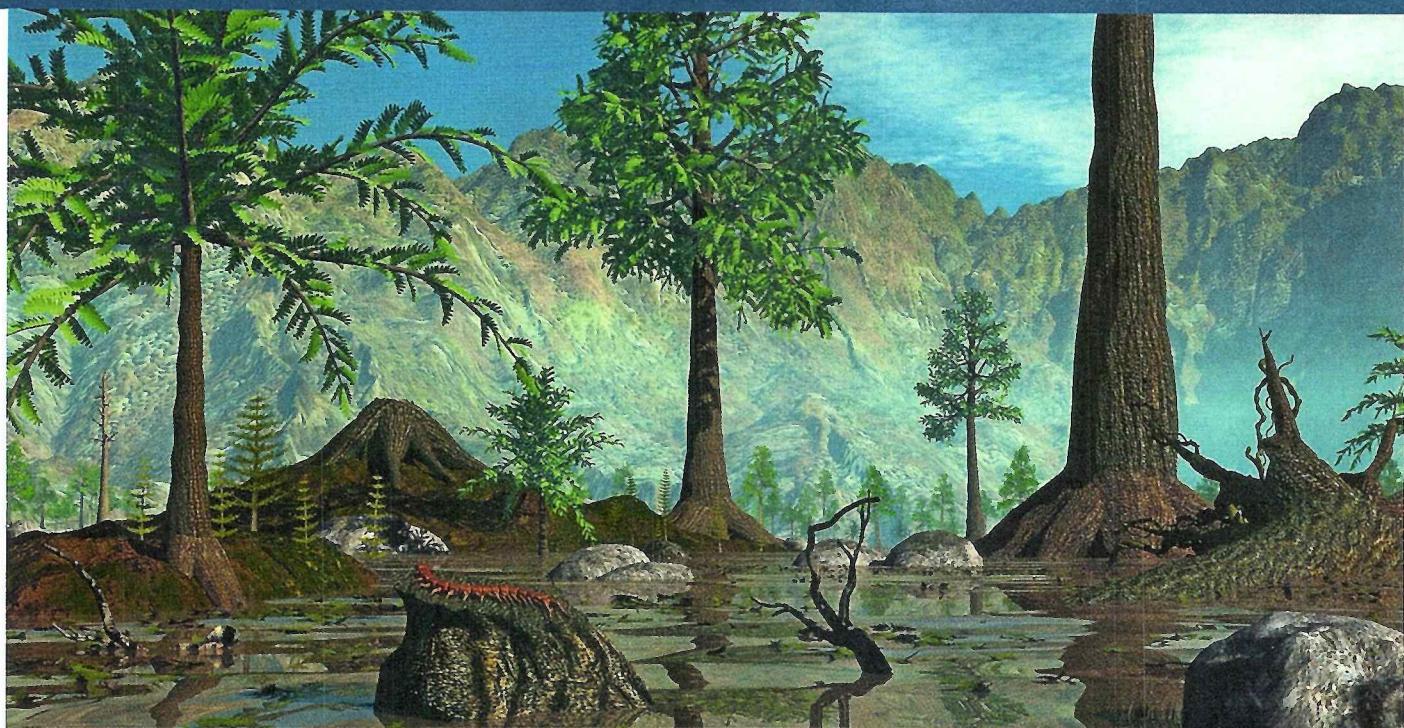


Pred zhruba 355 miliónmi rokov

Aytonerpeton microps, alias Tiny. Fosíliu tohto tvora ešte nikto vlastnými očami nevidel. Objavili ju, skamenenú, v čiernej usadenej hornine. Jej pozostatky zviditeľnila röntgenová tomografia: veľkú časť lebky, stehenné a ďalšie kosti. Tiny stojí na samom začiatku evolučnej línie, z ktorej sa neskôr vyvinuli obojživelníky.

Pred zhruba 344 miliónmi rokov

Pederpes finneyae. Zhruba 100 centimetrov dlhú fosíliu objavili v roku 2002 v Škótsku. Identifikovali ju ako jedného z prvých štvornožcov. Tento tvor, pripomínajúci miniatúrneho krokodíla, už mohol behať aj po pevnom povrchu. Uši mal ešte prispôsobené na prijímanie ultrazvukových signálov pod vodou. Zvierajúce sa podľa všetkého obojživelníkom. Pederpes mal päť prstov, ale na predných nohách sa zachoval aj pozostatok z minulosti, ďalší malý prštek.



Ťažké časy

Vedci z fosilií vyčítali, že na konci devónu sa počet živočíšnych druhov nápadne znížil. Minimálne dvakrát došlo k masovému vymieraniu, pričom z povrchu Zeme zmizlo 60 až 80% druhov. Biologickú krízu na sklonku devónu zaradujú medzi najväčších päť v dejinách Zeme. Medzi obeť doposiaľ neobjasnených katastrof patria aj strach vzbudzujúce pancierové ryby a tak tiež koraly.

Išlo o jednu, niekoľko miliónov rokov trvajúcu krízu, alebo niekoľko (možno až desať) po sebe nasledujúcich udalostí? To nie je jasné. Vedci rozlišujú dve rozhodujúce obdobia devónu, ktoré pomenovali po geo-

logických náleziskách:

1. Udalosť Kellwasser pred zhruba 372 miliónmi rokov, počas ktorej vymizli najmä morské organizmy;
2. Udalosť Hagenberg na sklonku devónu, zhruba pred 360 miliónmi rokov, ktorá postihla aj živé organizmy, najmä niektoré rastliny, na kontinentoch. Počas tejto udalosti sa výrazne znížilo množstvo kyslíka v moriach, čoho dôkazom je vrstva čiernych usadenín. Príčiny dlhej nepohody vedci nepoznajú. Podľa jednej z teórií sa život v oceánoch ocitol pod tlakom kvôli neobyčajnému rozbujeniu rastlinstva na pevnine. Prvé cievnaté

rastliny na pevnine zosilnili eróziu pevného podložia. Do morí sa splavovalo čoraz viac živín, ktoré podporili nebývalé rozšírenie rias. Ryby i bezstavovce, najmä v tropických moriach, si na to nevedeli zvyknúť.

Paleontológovia celé desaťročia predpokladali, že štvornožce sa z biologického kolapsu spamätávali najmenej 40 miliónov rokov. Najnovšie fosílie však dokazujú, že štvornožcom sa najviac darilo pred 355 miliónmi rokov. Podaktori vedci uvažujú o tom, že nedostatok kyslíka v oceánoch mohol evolúciu dokonca urýchliť. Nehostinné podmienky v mori mohli byť príčinou, prečo sa štvornožce rozhodli vyliezať na breh.



Pred zhruba 335 miliónmi rokov

Silvanerpeton miripedes. Nemal viac ako 40 centimetrov. Žil ako jašterice a na dýchanie zrejme používal aj hrudný kôš. Podaktori vedci sa nazdávajú, že mláďatá tohto tvora mohli vegetovať vo vode. V dospelosti sa prestáhovali na súš.

Pred zhruba 330 miliónmi rokov

Balanerpeton woodi. Obojživelníkom podobný štvornožec s primitívnym dýchaním a s vyvinutým sluchom, ktorý dokázal vnímať aj vysoké tóny. Táto 50 centimetrov dlhá „jašterička“ podľa všetkého žila najmä na pevnine.



Záhada zo Zachelmie

Doteraz objavené fosílie spoločne dokladajú časovú súsednosť evolúcie štvornožcov. O to záhadnejšie sú odtlačky končatín (stop) z poľského kameňolomu v okolí dediny Zachelmie. V roku 2010 opísal švédsky paleontológ Per Ahlberg tieto stopy v časopise Nature s týmto záverom: sú to stupaje štvornožca... Prezrádza to nielen forma otláčkov s viacerými prstami, ale aj „schodíkovitá“ chôdza, pripomínajúca salamandry či mloka. Lenže vrstva skamenej usadením so stopami má najmenej 395 miliónov rokov, teda o 18 miliónov rokov viac ako fosílie tetrapódov, a o 10 miliónov rokov viac ako Tiktaalik, jediný zachovaný

„etalón“ z obdobia prechodu medzi devónom a karbónom. Stopy dokazujú, že sa štvornožce vyvíjali už počas stredného devónu, takže rekonštrukcia vývoja z doteraz objavených fosílií je nedostatočná. Per Ahlberg medzičasom objavil v poľských sedimentoch aj ďalšie stopy štvornožcov.

Štvornožce zo Zachelmie mali 13 až 26 centimetrov široké chodidlá s viacerými prstami, ktoré veľmi pripomínajú prsty ichtyostegy. Podľa všetkého nežili v močari, ale v piesočnej lagúne. Pohybovali sa mohli napríklad tak, že telo nadláhčovala voda, zatiaľ čo nohy zanechávali v piesku odtlačky.

sa takéto nové niky osídlia.“

Nálezy zo Škótska mu dávajú za pravdu. V premenlivom svete na juhu Euroameriky sa na rozhraní medzi vodou a pevninou objavilo veľa možností na osídlenie.

Z nôh na hlavu

Radikálna prestavba kostry rýb smerom k životu na súši sa však podľa najnovšej teórie nezačala pri nohách, ako si paleontológovia odjakživa mysleli, ale na hlave.

Tím Malcolmu McIvera (Northwestern University, USA, štát Illinois) zverejnili nedávno prevratnú štúdiu. Vedci dokazujú, že zrak sa živočíchom začal vylepšovať už pred 385 miliónmi rokov. V tom čase sa ešte všetci pohybovali iba vo vode. Vrátane chýrneho Tiktaalika, stvorenia s vonkajšími znakmi, ktoré už naznačovali „prechod“ k vyššiemu druhu. Poháňali ich plutvy podobné veslám.

McIver a jeho kolegovia dokázali, že sa oči štvornožcov, od stredného devónu až po neškorý karbón, neustále zväčšovali, pričom sa postupne premiestňovali zo strán na povrch hlavy. Pod vodou takéto zmeny neboli veľmi výhodné. Na súši sa však zrak štvornožcov mnohonásobne zlepšil. Tento pokrok predstavoval rozdiel medzi výhľadom v hmle a za jasného dňa.

McIver predpokladá, že štvornožcov k výpadom na súš lákala potencionálna potrava, živočíchy hemžiac sa na povrchu. Zmenenemu spôsobu života sa postupne prispôsobila aj ich kostra. Jennifer Clacková McIverovi verí: „Je to znamenitá štúdia, pretože na rozdiel od iných sa opiera o fakty. Kolegovia spoza veľkej mláky presvedčivo dokázali, že od prvopočiatku boli najdôležitejšie interakcie s okolitým prostredím“.

Trvalý pobyt na súši neboli ľahký. Štvornožce museli svoje rybie telá radikálne prestavať. Vyvinuli silnú, ohybnú chrabticu a pevný hrudný kôš. Bedrové kosti sa spojili s chrabticou, krehké chrupavky v končatinách skoncentrovali, sformovali sa klby na rukách i na nohách. Počet prstových kostí na končatinách sa znížil zo siedmich až ôsmich (pri ichtyostege a jej súčasníčke acanthostege) na päť a menej. Tielko prstov majú aj všetky dodnes žijúce štvornožce.

Pľúca, žiabre a pomýlená stratégia

Ďalším významným krokom bola zmena dýchania. Isté je, že štvornožce mali od začiatku pľúca, pomocou ktorých dokázali dýchať aj nad vodou, a mali aj žiabre. Počas pobytu mimo vodu nemali problém s príjomom kyslíka, ale ľažko sa zbavovali oxidu uhličitého.

Witzmann: „Ak z tela nemožno dostatočne vyuľučovať produkt látkovej výmeny, kyslosť krví rastie. Čoraz viac paleobiológov sa prikláňa k názoru, že kmeň tetrapódov prijímal kyslík zo vzduchu, ale CO₂ vyuľučoval žiabrami. Vodu teda mohli opustiť iba nakrátko.“ Dve veľké skupiny stavovcov, obojživelníky i blanovce (amniota), teda predstavitelia všetkých dnes žijúcich plazov, vtákov i cicavcov, vyvinuli najrozličnejšie stratégie zbavovania sa CO₂. Predkovia blanovcov sa naučili vyrážať pľúca silnými pohybmi hrudného koša. Táto forma vdychovania a vydychovania je mimoriadne efektívna.

Obojživelníky vyriešili problém inak: zbavili sa šupín z materiálu pripomínajúceho rohovinu a obliekli sa do tenkej, vlnknej kože, pomocou ktorej sa zbavujú CO₂. Dodnes sú odkázané na vlnké prostredie, lebo suchá koža výmenu plynov neumožňuje. Tento fakt limitoval a limituje ich veľkosť.

Ich potomkovia z druhého kolena, mloky, vtáky či cicavce, takéto obmedzenia nemajú. Dinosauři, lietajúce jaštery a mamuty nado budli neskôr enormné rozmery. Stali sa vládcami kontinentov.

Bezos, Branson, Musk.

Miliardári v kozmickej aréne

Kto ako prvý prenikne do kozmického priestoru „za vlastné“?
Priemysel raketových nosičov vstupuje do obdobia „druhej revolúcie“

Americká kozmická agentúra NASA nedávno oslávila 60. výročie svojho založenia. Nášlada v sále však bola ponurá. Medzi účastníkmi osláv sedeli aj ľudia, ktorí si ešte dobre pamäťajú „zlatý vek“ americkej kozmonautiky. Najmä záverečnú fázu projektu Apollo, keď šesť kozmických lodí dopravilo počas necelých 4 rokov na povrch Mesiaca 12 astronautov. A všetky sa, aj s posádkami a niekedy aj s nákladom, vrátili na Zem.

Vláda Spojených štátov však z roka na rok kráti finančie pre štátnu kozmickú agentúru. Spolu s peniazmi sa z NASA vytrácajú najlepšie hlavy vrátane kedysi špičkovej invencie. Zdá sa, že v roku 2019 sa americká kozmonautika znova zrodí. Po prvý raz od roku 2011, keď raketoplány stiahli z obehu, nebudú Američanov vynášať do kozmu ruské, ale opäť americké rakety. A NASA sa bude iba prizeráta, ako multimiliardári premenia kozmos na arénu, v ktorej tí najlepší budú zarábať miliardy dolárov. Ako realizátori štátnych kozmických projektov aj ako súkromní dopravcovia kozmických turistov. Na obežnú dráhu okolo Zeme, na Mesiac a o dvadsať rokov (možno) aj na Mars...

Viac ako desaťročia súťažili tri štredro platené tímy inžinierov o to, kto ako prvý vyšle astronautov na tak dlho odkladané misie: Jeff Bezos, Elon Musk, alebo Richard Branson?

Ak sa čo len jedna z plánovaných misií vydarí, ocitneme sa na prahu éry komerčnej kozmonautiky. Pretože náklady na bežné misie budú oveľa nižšie ako v minulosti.

Najdôležitejšia inovácia: najdrahšie časti nosičov sa už nebudú, tak ako počas programu Apollo, po každom štarte strácať v hlininách oceánov ako produkt na jedno použitie. Vráťa sa na rampu a po osetrení sa opäť použijú. Robustné, najcitlivejšími senzormi vybavené nosiče budú podobne ako dopravné lietadlá po krátkom servise pripravené na ďalší štart. Ak sa náklady na kozmonautiku naozaj radikálne znížia (a tak to vyzerá), všetko sa zmení. V kozmickej brandži sa rozpúta tvorivý boom. V tomto novom svete nebudú v kozme súperiť iba národy, ale aj firmy. Dokonca aj tie, ktoré nevlastnia miliardári. Onedlho budeme svedkami dobrodružstiev astro-, kozmo- a taikonautov na výpravách na Mesiac, k niektorému z asteroidov, či na Mars.

Jeff Bezos (*1964)

Keď mal Jeff Bezos 18 rokov, prednesol ako najlepší absolvent ročníka pred konškolákmami pamätný prejav. Noviny *Miami Herald* z prejavu citovali: „Bezos by chcel stavať na obež-

nej dráhe okolo Zeme hotely, zábavné parky i kolónie pre 2 až 3 milióny obmienajúcich sa klientov a príslušného personálu. To všetko musíme urobiť, aby sme zachránili Zem!“ Ďalšie generácie, čoraz vo väčšom počte, budú opúštať našu planétu, ktorá by sa mohla postupne premeniť na „ozrutný národný park“. Dnes má Bezos 54 rokov, svet ho pozná ako zakladateľa firmy Amazon a momentálne najbohatšieho pozemšťana. Jeho majetok odhadujú na 150 miliárd dolárov. Na svoj „hviezdny sen“ z mladosti však Bezos nezabudol. Naopak, ešte ho zradikalizoval.

Už v roku 2000, niekoľko mesiacov po „internetovej bubline“ a nasledujúcim krachu na burzách, založil Bezos potajomky nedaleko Seattle vlastnú kozmonautickú firmu Blue Origin. Jeho prvým zamestnancom sa stal Neal Stephenson, autor románov sci-fi. Bezos uskutočnil svoj start-up nedaleko El Pasa v najzápadnejšom výbežku štátu Texas, na pozemku väčšom ako Berlín. Tam, uprostred nezaľudnejenej púšte, mimo dosahu médií, postavil svoju kozmickú základňu. Rakety, ktoré jeho inžinieri celé roky vyuvíali, vyrábali a vylepšovali, dlho pripominali detské hračky. Až do 29. apríla 2015, keď štart jednej z nich bleskovo posunul Bezosa do preve ligy inovátorov kozmonautiky.

Svoj opakovane použitelný suborbitálny kozmický vehikel pomenoval podľa Alana Sheparda, jedného z priekopníkov americkej kozmonautiky, New Shepard. Nosič sa skladá z dvoch časťí. Z rakety, ktorá má iba jeden

stupeň, a kozmickej kabíny. Po štarte sa vo vesmíre obe časti od seba oddelia a vertikálne, bez poškodenia, vrátia opäť na Zem. „Kapitán Computer“ všetko zvládne sám, nebude mať ani spoločníka. Do elegantnej kabíny sa zmestia šiesti pasažieri. Tí si po dosiahnutí výšky 100 kilometrov budú môcť vychutnať pocity bezťažového stavu a panoramatickým oknom obdivovať zemegulu. Kabína sa znesie na Zem na padáku, pričom o bezpečný návrat sa postarajú aj brzdiace trysky. Celý výlet Texas – kozmos – Texas by mal trvať iba jedenásť minút.

Samotný nosič, najnákladnejšia časť skladacích, bude niekoľko sekúnd padať k Zemi volným pádom. Potom sa opäť zapália raketové motory, ktoré rýchlosť pádu spomalia. Krátko pred dosadnutím na vopred určené miesto (alebo na rampu) vysunú sa spod nosiča štyri nohy a raketa dosadne mäkkö, nehlučne, stably riadená božou rukou. Firma plánuje motory, ktoré vydržia najmenej sto letov do vesmíru.

Do výšky 120 kilometrov absolvoval New Shepard už deväť letov. Posledných päť prebehlo bezmála perfektne, takže sa očakáva, že už v najbližšom čase by mohla firma Blue Origin ohlásiť prvý skúšobný test s človekom na palube.

V tomto roku budeme svedkami aj ďalších letov s ľuďmi na palube. Tí poslední si už za „skok do kozmu“ zaplatia. Cenu leteniek zatiaľ Bezos nestanovil.

Šéf Amazonu chce vybudovať celú flotilu ta-



New Shepard firmy Blue Origin

Použitie: suborbitálne lety

Trvanie letu: zhruba 11 minút, z toho

niekoľko minút v bezťažovom stave

Posádka: 6 pasažierov

Rozmery: výška 18 m; priemer 4,5 m

kýchco raket, pričom každý New Shepard by mal byť využitý niekoľkokrát za týždeň. Po lete Jurija Gagarina sa do kozmu dostalo menej ako 600 ľudí. Tento počet Bezos v krátkom čase niekol'konásobne zvýši. Do vesmíru chce dopraviť milión platiacich pasažierov.

„Lety do vesmíru ma momentálne zaujímajú najviac“, vyhlásil nedávno „protože ľudstvo sa už čoskoro nezaobídne bez alternatívy.“

Jedným z Bezosových cieľov je Mesiac. Neskôr zamýšla dopravovať na obežnú dráhu okolo Zeme dielce kozmických fabrik, najmä tých, čo životné prostredie na Zemi zatažujú najviac. A nakoľko je presvedčený, že nič na svete nie je dôležitejšie ako jeho projekt, každý rok „hodí“ na trh akcie Amazonu v hodnote 1 miliardy dolárov. Tak chce zvýšiť dôveru vo svoju víziu nielen u ľudí s najväčším kapitáлом a s najväčšou predstavivostou, ale aj u obyčajných smrteľníkov.

Konkurenti si už dávno z Bezosa neuťahujú. Pracujú pre neho najtalentovanejšie hlavy kozmického priemyslu, najmä tí, čo kedy si slúžili v NASA. Samotný fakt, že vo svete „trhovej kozmonautiky“ dostáva Bezos objednávky aj od konkurencie, svedčí o vysokej spoľahlivosti jeho produktov. Pre koncerny Boeing a Lockheed Martin vyrobia v Blue Origin motory pre nimi vyvinutú raketu Vulcan.

Blue Origin však už dávnejšie vyvíja aj výkonnejšie nosiče ako rakety pre turistickú kozmonautiku. Nosič New Glenn, pomenovaný po prvom americkom astronautovi, bude na obežnú dráhu vynášať oveľa hmotnejšie náklady. Prvý let sa uskutoční už koncom roku 2020.

Služby Bezosovej firmy využíva aj Pentagon, no o týchto tajných misiach zatiaľ veľa nevie-me.

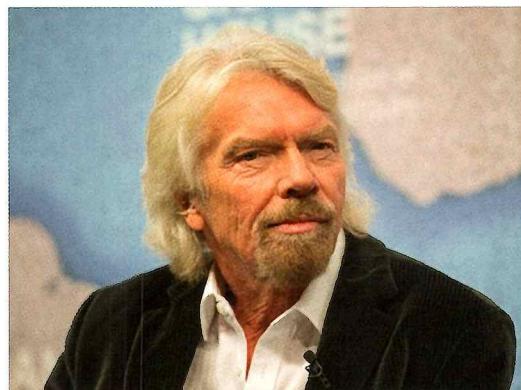
V Blue Origin vyvíjajú aj nákladnú loď, ktorá bude na povrch Mesiaca dopravovať materiál až do hmotnosti niekoľkých ton bez posádky. Rysuje sa aj spolupráca s Európanmi: nemeská firma OHB (Orbitale Hochtechnologie Bremen) so sídlom v Brémach bude s Bezo-som spolupracovať pri vývoji satelítov.

Richard Branson (*1950)

Najintenzívnejšie sa v troch súperiacich kozmických firmách pracuje na misiach, ktorých cieľom je vysadiť, po bezmála piatich „prázdných“ desaťročiach, astronautov na povrch Mesiaca. Richard Branson, tento veľkohubý guru globálneho marketingu v októbri 2018 vyhlásil, že počas niekoľkých týždňov, nie mesiacov, vynesie jeho nosič, vyrobený firmou Virgin Galactic, raketoplán SpaceShipTwo do výšky 100 kilometrov.

Do vesmíru chce nazrieť aj samotný Branson prostredníctvom jedného z testovacích letov. Už krátko po návrate z kozmu začne aj on ponúkať návštavy vesmíru pre najzámožnejších pasažierov. Vyše 600 ľudí už za letenkou zaplatilo 250 000 dolárov. Medzi pasažiermi budú aj Lady Gaga, Katy Perry a Justin Bieber.

Odborný svet neberie Bransonove plány ani zdáleka tak vážne ako Bezosove. Aj preto, že po roku 2008 už niekoľkokrát označil, že prvý start jeho rakety je predo dvermi. Na-výše, ani jeden zo šiestich skúšobných letov



Traja kozmickí podnikatelia: Bezos (vľavo), Branson (dole), Musk.

Elon Musk (*1971)

A čo šéf spoločnosti Tesla, zakladateľ kozmickej firmy SpaceX, človek, ktorý plánuje multiplanetárnu budúcnosť ľudstva? Zasvätení tvrdia, že Elon Musk je v pretekoch minimálne o prsia pred Bezosom i Bransom. Jeho osvedčená spoľahlivá raketa Falcon 9 vyletela už do vesmíru viackrát, a nielen v rámci testov. Istý čas zásobovala kozmickú stanicu ISS potravinami a kozmická loď Crew Dragon, do ktorej sa zmestia siedmi astronauti či pasažieri, je pripravená na štart. Hodno pripomienúť, že niekoľko zmlúv so súkromníkom Muskom podpísala aj agentúra NASA. Už v januári 2019 sme boli svedkami skúšobného letu lode Crew Dragon (bez posádky) ku kozmickej stanici ISS. Ďalší let, už s posádkou, sa má uskutočniť v júni. Dvaja astronauti, volákedajší členovia posádkov na misiach raketoplánov, majú na kozmickej stanici po-budnú dva týždne.

V NASA majú ešte isté pochybnosti, či je loď Crew Dragon pre dopravu ľudí dostatočne bezpečná. Ak skúšobné lety dopadnú dobre



Falcon Heavy/Dragon firmy SpaceX

Použitie: lety ku kozmickým staniciam a ku kozmickým objektom

Trvanie letu: závisí od cieľa

Posádka: až 7 astronautov

Rozmery: výška 70 m; šírka 12 m

a NASA projekt odobrí, Musk bude na ISS dopravovať polovicu nákladov. Druhú polovicu by mal zabezpečovať Boeing, pretože NASA chce mať zásobovanie stanice poistené. Lod' Boeing CST-100 Starliner (Crew Space Transportation) s miestami pre siedmich astronautov však otestujú až v auguste tohto roku.

Pokial' ide o kozmický turizmus, projekty Elona Muska sú aj v tomto prípade veľkolepejšie a odvážnejšie ako u oboch konkurentov. Nedávno predal letenku na Mesiac japonskému miliardárovi Yusaku Maezawovi, ktorý zbohatol na online obchode. Koľko Japonec za obletenie Mesiaca Muskovi zaplatil? Možno sa to dozvieme ešte pred rokom 2023, keď sa let k Mesiacu uskutoční.

Pre Muska je Mesiac iba medzistanicou. Na rakete Big Falcon Rocket plánuje v roku 2024 vypraviť misiu na Mars. Na Červenej planéte chce najskôr postaviť základňu, potom kolóniu s konečným cieľom vytvoriť podmienky pre sebestačnú civilizáciu. Na Marse, vraví Musk, by chcel aj umrieť. Pravdaže, nie počas pristátia.

Der Spiegel 44/2018, E. G.



Niekol'ko (astronomických) zastavení v Kodani

Hvezdáreň na okrúhlej veži Rundetaarn v Kodani stojí v historickej časti dánskej metropoly. Patrí k architektonickým pamiatkam zo 17. storočia. Nechal ju vybudovať dánsky kráľ Christian IV. (1577 – 1648).

Základný kameň veže Rundetaarn bol položený v roku 1637, hvezdáreň začala činnosť v roku 1642. Jej prvým riadiťom sa stal žiak a spolupracovník Tycha Braheho (1546 – 1601) Christian Severin Longomontanus (1562 – 1647). Bola postavená ako súčasť univerzitného komplexu Trinitatis, ktorý okrem veže s astronomickou pozorovateľňou zahŕňa i vedľa stojaci študentský kostol, v podkroví ktorého je vybudovaná univerzitná knižnica s veľkou výstavnou a koncertnou sálou a malým múzeom. Okrúhla veža je zhruba vo výške piateho poschodia prepojená s podkrovím

kostola, čo tvorí vstup do knižnice a všetkých jej miestností.

Stále funkčná

Rundetaarn je najstaršia hvezdáreň v Európe, ktorá i po takmer štyristo rokoch stále plní svoje poslanie. Samozrejme, že po viacerých úpravách, opravách a rekonštrukciách. Má za sebou bohatú história, pracovali tu viacerí významní dánski hvezdári, vedci, fyzici, matematici a mysliteľia. Navštívilo ju množstvo odborníkov, laikov i obyčajných ľudí a ešte i v dnešnej dobe ju využívajú astronómovia amatéri nielen na svoju činnosť, ale aj na organizovanie podujatí a astronomických pozorovaní objektov na oblohe pre širokú verejnosť.

Hvezdáreň sa týči do výšky 35 metrov, okolo nej je vyhliadková plošina, poskytujúca pekný výhľad na celé mesto. Pre zaujímavosť treba ešte dodať, že na Rundetaarn nevedú schody, ale špirálovitá dláždená cesta. V minulosti po nej chodili konské povozy a vynášali na vežu rôzny materiál pre potreby hvezdárne a knižnice.

Hvezdáreň Østervold

V Kodani sa nachádza ešte jedna vzácna historická hvezdáreň – Østervold. V 19. storočí ju dala postaviť a doteď ju vlastní a spravuje Kodanská univerzita. Nachádza sa v peknom

prostredí botanickej záhrady a svoju história začala písat v roku 1861. Táto hvezdáreň, ako novšia, modernejšia, lepšie vybavená a s vhodnejšou polohou, nahradila v ďalšej činnosti a zameraní v plnej miere svoju oveľa staršiu predchadkyňu, ktorou bola hvezdáreň na okrúhlej veži Rundetaarn. Všetka práca a kompetencie teda prešli pod riadenie hvezdáreň Østervold a stanovené úlohy sa začali realizovať v nových priestoroch.

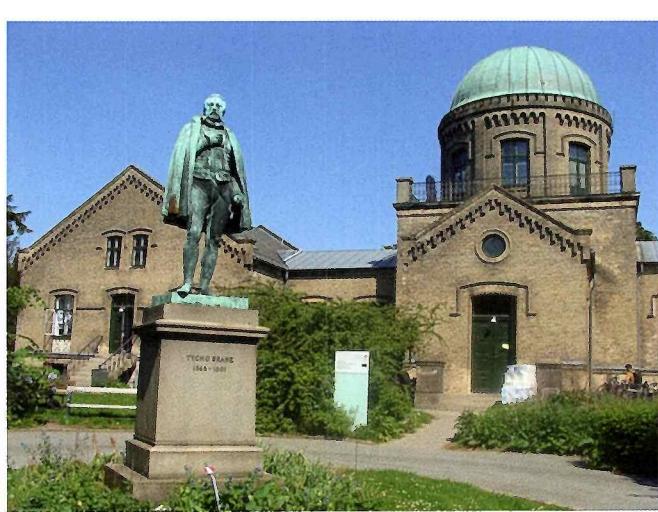
Hlavnou náplňou činnosti hvezdárne sa stalo štúdium hmlivín. V roku 1867 vydali katalóg, ktorý obsahoval popis skoro 2 000 hmlivín. Venovali sa tiež spektroskopii a v roku 1940 dokázali, že prvkom, ktorý sa vo hviezdach vyskytuje najhojnnejšie, je vodík. Využívali aj meridiánový kruh, pomocou ktorého určili pozície až pre 10 000 hviezd.

Pôvodne bol vo hvezdárni inštalovaný na tú dobu výkonný ďalekohľad – refraktor 280/4900 mm. V roku 1895 ho vymenili za dvojity ďalekohľad. Išlo o dva ďalekohľady inštalované na jednej montáži – refraktory 360/4900 mm a 200/4800 mm. Väčší slúžil na vizuálne pozorovanie a menší sa používal na paralelné fotografovanie.

Vzhľadom na zhoršujúce sa pozorovacie podmienky, nakoľko mesto stále rásťlo a rozširovalo sa, v päťdesiatych rokoch uplynulého storočia celý vedecký program presunuli do nového observatória Brorfelde asi 60 kilometrov južne od Kodane pri meste Holbæk. Hvezdáreň Østervold, aj so starým dvojitym ďalekohľadom, však dodnes slúži pre školské potreby Kodanskej univerzity pri výchove a vzdelávaní študentov. Pre verejnosť nie je prístupná.

Geologické múzeum

V areáli botanickej záhrady sa nachádza



Hvezdáreň Østervold patrí Kodanskej univerzite.



Moderné planetárium nesie meno najväčšieho dánskeho hvezdára Tycha Braheho.

aj ďalšie významné vedecké pracovisko, vzdialé len niekoľko desiatok metrov od hvezdárne Østervold. Sídli tu medzinárodne uznávané kodanské Geologické múzeum. Vlastní a sprístupňuje širokej verejnosti množstvo exponátov, ktoré boli zozbierané a sústredené počas niekolkých storočí. Predstavuje zbierku minerálov z celého sveta, predkladá návštěvníkom rôzne vzácné fosílie zvierat a rastlín, oboznamuje ľudí s geografiou Dánska a Grónska. V osobitnej expozícii pojednáva o vzniku a vývoji vesmíru, o Slnku, jednotlivých planétach a Slnečnej sústave ako celku a taktiež obsahuje jednu z najväčších európskych zbierok rôznych typov a druhov meteorítov.

Už pri vstupe do múzea, v strede nádvoria, upúta pozornosť návštěvníkov veľký 20-tonový železny meteorit Agpalilik. Ide o druhý najväčší fragment obrovského železného meteoritu Cape York, ktorý spadol na Zem asi pred 10 000 rokmi a rozpadol sa na bližšie neurčený počet častí. Prvé tri fragmenty objavil v roku 1894 americký výskumník a dôstojník námorníctva Robert Peary (1856 – 1920) na severozápadnom pobreží Grónska v oblasti Cape York. Boli to najväčší a najhmotnejší kus nazvaný Ahnighito (31 t), Woman (3 t) a Dog (400 kg). Uvedené meteority sú vystavené v Prírodrovednom múzeu v New Yorku.

V ďalších rokoch postupne našli, identifikovali a pomenovali ďalších päť častí meteoritu Cape York – Savik I (3,4 t), Thule (50 kg), Savik II (8 kg), Agpalilik (20 t) a Tunorput (250 kg). Treba ešte dodať, že už predtým spomenutý

ponuje modernými technológiami veľkorozmerného premietacieho systému IMAX s 3D projekciou.

Pre návštěvníkov pripravuje nezabudnuteľné zážitky najmä prezentáciou programov vo veľkej sále planetária, kde sa doslova vznášajú, priamo sa cítia súčasťou dejia a putujú nekonenečným vesmírom. Oblúbené sú tiež filmové predstavenia, v rámci ktorých sa premietajú aktuálne hrané celovečerné filmy s príbuznou tematikou. Okrem toho vo všetkých interných priestoroch planetária sú inštalované esteticky vynásne, pútavé a zaujímavé výstavy a upútavky so zameraním na astronómii, kozmonautiku a dejiny. Návštěvníci tu majú tiež reálnu možnosť obdivovať niečo, čo môžu vidieť len málokde: vystavený originálny kus mesačnej horniny, ktorú dopravila na Zem posádka Apolla 17 v roku 1972. Planetárium je pre verejnosť otvorené sedem dní v týždni. Dánska metropola je vyspelým európskym veľkomestom s bohatou historiou a aktívnu súčasnosťou. Poskytuje veľké množstvo možností kultúrneho, spoločenského a športového využitia. Každý si môže vybrať podľa záujmu, zamerania a množstva voľného času. K dispozícii je napríklad kráľovský palác Amalienborg s atraktívou výmenou stráži, zámok Rosenborg, kde sú uložené kráľovské korunovačné klenoty, zábavný park Tivoli, obchodná ulica Stroget, prístav Nyhavn, množstvo historicky cenných kostolov, chrámov a pevností, veľký počet múzeí, galérií, výstavných miestností a klubov, tiež modernej športovej stánky, ako napríklad nová kultúrno-sportová hala Royal Aréna a hádam žiadny turista si nenechá ujsť príležitosť pozrieť si symbol mesta - sochu Malej morškej víly na brehu mora. Do tejto bohatej ponuky patria samozrejme i mesta a pracoviská, ktoré sme hlavne pre záujemcov o astronómii a prírodné vedy predstavili v tomto článku.

atraktívny exponát Geologického múzea v Kodani meteorit Agpalilik objavil v roku 1963 dánsky vedec a výskumník Vagn Buchwald (1929) na malom polostrove Agpalilik v oblasti Cape York v Grónsku.

Tycho Brahe planetárium

Na rozdiel od starších astronomických zariadení a historických zaujímavostí, ktoré sme doteraz spomínali, v Kodani nájdeme aj jedno z najmodernejších planetárií v Európe. Sídli v exkluzívnej budove, je vybavené špičkovým technickým zariadením a dis-

Ženy (a

Oslavy 100. výročia založenia Medzinárodnej astronomickej únie (IAU) budú prebiehať počas celého roka 2019. Sú zamerané aj na problematiku rovnocenných príležitostí, rozmanitosti a začlenenia menších do astronómie. Jednou z významných aktivít v tomto duchu je *Deň žien a dievčat v astronómii* 11. februára 2019. Tento dátum je zároveň Medzinárodným dňom žien a dievčat vo vede, ktorý vyhlásila OSN.

Spolu s ocenením významného prínosu žien v astronómii to súčasne bude motivácia zástupkýň nežnejšej polovičky ľudstva, aby uvažovali o kariére v odbore, ktorý ponúka rovnocenné príležitosti bez ohľadu na pohlavie. Cieľovou skupinou týchto podujatí sú však aj muži, ktorí chcú prispieť k uplatneniu žien v astronómii a naučiť sa, ako im poskytnúť podporu v ich aktivitách.

Z celkového počtu astronómov v celom svete je sice iba 15 % žien; niekoľko nasledujúcich príkladov z posledného storočia však jasne ukazuje ich nezastupiteľnú úlohu vo vesmírnom výskume.

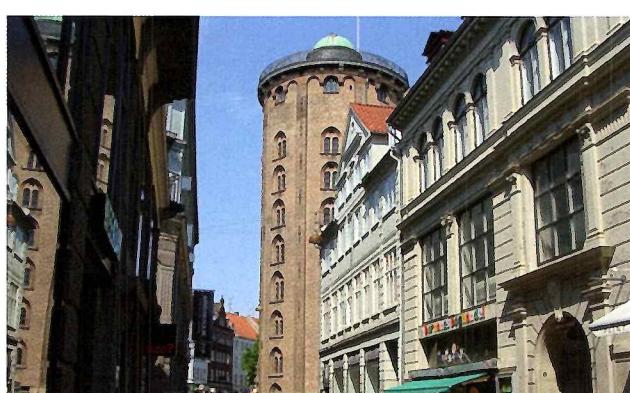
Pickeringov harem

Observatórium Harvardskej univerzity pod vedením Edwarda Charlesa Pickeringa zamestnávalo niekoľko žien, ktoré spracovávali astronomické pozorovania. Bola to vôbec prvá inštitúcia, ktorá na takúto prácu zamest-



Zamestnankyne observatória Harvardskej univerzity spolu s Edwardom Charlesom Pickeringom.

návala ženy. Medzi nimi spomeňme mená ako Williamina Flemingová, Annie Jump Cannonová, Henrietta Swan Leavittová, Florencia Cushmanová či Antonia Mauryová. Hoci ich primárnu úlohou bolo meranie polôh, jasnosťí či klasifikácia spektier hviezd na fotografických platniach, tieto dámy sa zaslúžili aj o množstvo nových objavov a poznatkov. Napríklad Williamina Flemingová, ktorá najprv pracovala ako gazzdiná u Pickeringovcov, objavila 10 nov, takmer 60 hmlovín a viac ako 300 premenných hviezd. Henrietta Leavittová zasa objavila vzťah medzi svietivosťou a períodom pulzácií cefeíd, ktorý sa dodnes používa pri určovaní vzdialenosťí galaxií.



Hvezdáreň na okrúhlej veži Rundetaarn.

Mgr. Peter Poliak
FOTO – Autor

dievčatá) v astronómii

Matka Hubblovho vesmírneho ďalekohľadu
Nancy Romanová vedela, že sa stane astronómou dávno predtým, než sa väčšina žien vôbec odvážila snívať o vedeckej kariére.



Nancy Romanová s modelom Orbiting Solar Observatory.

Ako povedala v jednom rozhvore, hlavnú úlohu v tomto rozhodnutí zohrala jej matka. Od svojich 11 rokov organizovala astronomické pozorovania pre kamarátov a nakoniec sa stala prvou ženou na vedúcej pozícii v americkej NASA. Jej priekopnícka práca sa týkala rozvoja ďalekohľadov, vrátane Hubblovho vesmírneho ďalekohľadu (HST), preto je niekedy prezývaná aj matka HST. Zomrela 25. decembra 2018 v úctyhodnom veku 93 rokov.

Tmavá hmota v galaxiách

Vera Rubinová spolu s Kentom Fordom a ďalšími študovali takmer pred polstoročím rotáciu špirálových galaxií. Zistili, že predpovedaná rýchlosť ich rotácie nezodpovedá skutočným pozorovaniam. Ak by galaxie dr-



Vera Rubinová pracovala ako výskumná pracovníčka Carnegie Institution of Washington.

žala pokope iba viditeľná hmota, pri pozorovanej rotačnej rýchlosťi by sa museli rozpadat. *Vera Rubinová a jej spolupracovníci predpokladali, že významnú úlohu v tomto probléme zohráva neviditeľná hmota. Dodnes ide o jeden z najpresvedčivejších dôkazov existencie tmavej hmoty, ktorá podľa súčasných meraní tvorí väčšinu hmoty vesmíru. Vera Rubinová získala niekoľko ocenení a vyznamenaní. Zomrela v roku 2016 vo veku 88 rokov.*

Pulzary bez Nobelovej ceny

Jocelyn Bellová, doktorandka na Univerzite v Cambridge, v roku 1967 objavila zvláštne

pulzujúce rádiové signály prichádzajúce z vesmíru. Zaznamenala ich pomocou nového školského rádioteleskopu, ktorý pomáhal sama vybudovať. Spolu s kolegami nakoniec správne identifikovala zdroj záhadných signálov: rýchlo rotujúce neutrónové hviezdy, pulzary. Práca o tomto objave mala päť autorov, prvým však bol jej školiteľ Anthony Hewish, ktorý v roku 1974 získal Nobelovu cenu (spolu s Martinom Ryleom). Dodnes mnohí vedci kritizujú vynechanie hlavnej autorky objavu pri udeľovaní prestížneho ocenenia. V roku 2018 však Jocelyn Bellová získala cenu Breakthrough Prize in



Jocelyn Bellová v roku 1967 kedy objavila pulzary.

Fundamental Physics. Celú čiastku, presahujúcu 2 milióny libier, venovala na zapojenie žien, menšíň a utečencov do fyzikálneho výskumu.

Kráľovná prstencov

Carolyn Porcová je úspešná spisovateľka a intenzívne spolupracuje s médiami, okrem toho si však nájde čas aj na prevratný výskum. Je považovaná za jedného z najväčších sveto-



Carolyn Porcová počas jednej z prednášok (2016).

vých odborníkov na prstence a mesiace vonkajších planét. K jej najväčším objavom patria gejzíry na šiestom najväčšom mesiaci Saturna, Encelade. Už v 80. rokoch pracovala na misiach Voyager k vonkajším planétam Slnečnej sústavy a nedávno aj na veľmi úspešnej misii Cassini, ktorá skúmala Saturn. Teraz pracuje na misii New Horizons, ktorá skúmala Pluto a v prvý deň tohto roka snímkovala doteraz najvzdialenejší objekt Slnečnej sústavy – planétku s neoficiálnym názvom Ultima Thule.

Desiatky komét rovnakého mena

Carolyn Shoemakerová v mladosti vedecké témy nezaujímal, astronomickú kariéru začala až vo veku 51 rokov. Táto 89-ročná výnimočná žena však má dnes na konte už objav stoviek asteroidov a desiatok komét, dodnes nesie jej meno viac komét ako ktoréhokoľvek iného astronóma (nepočítajúc dnešné automatické prehliadky). Preslávila sa najmä objavom kométy Shoemaker-Levy 9 z roku 1993 (spolu s manželom a amatérskym astronómom Davidom Levym); kométa sa rozpadla na kusy a neskôr 21 jej fragmentov narazilo do Jupitera. Carolyn Shoemakerová získala



Týmto ďalekohľadom objavila Carolyn Shoemakerová spolu s manželom stovky asteroidov a desiatky komét.

viacero ocenení za významný prínos k výskumu asteroidov a komét, ktoré by potenciálne mohli ohrozíť Zem.

Tento zoznam nie je výčerpávajúci, pokoju by sme ho mohli rozšíriť a venovať mu samostatné číslo Kozmosu. Snáď ale poslúži ako inšpirácia pre tie dievčatá, ktorá váhajú, či sa dokážu uplatniť v astronómii, a presvedčí všetkých, že ženy majú vo vede, vrátane astronómie, nezastupiteľné miesto.

Viac informácií o podujatiach a aktivitách organizovaných pri príležitosti osláv 100. výročia založenia IAU možno nájsť na oficiálnych slovenských stránkach: iau100.sk.

Mgr. Jaroslav Merc,
asistent národného koordinátora pre vzdelávanie aktivity IAU na Slovensku

Exotické dvojhviezdy v guľovej hviezdokope 47 Tucanae

Vesmírny röntgenový ďalekohľad Chandra nasnímal guľovú hviezdokopu 47 Tucanae. Vedci v tejto hviezdokope už dávnejšie rozlíšili 25 kataklizmatických premenných hviezd (CVs), čiže bielych trpaslikov nabaľujúcich hmotu z druhej zložky dvojhviezdy.

Na najnovšej snímke objavili 22 nových CVs. Josh Grindlay a Maureen van der Berg z CfA (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) zistili, že na rozdiel od iných kôp, kde dominujú nedávno sformované CVs, v kope 47 Tuc sú podaktoré biele trpaslíky oveľa staršie. Možno až primordiálne.

Sústavu normálnej hviezy typu CVs tvorí biely trpaslík a bežná menšia hvieza. Okolo spoločného tažiska obehnú za 1 až 10 hodín. Rodina dvojhviezd CVs je pestrás; na základe fyzikálneho popisu akrécie, erupcií vyvolaných sporadickou akréciou, vzplanutí na povrchu bieleho trpaslíka či prítomnosti čiar vodíka druhej zložky vedci rozlíšujú 4 typy týchto objektov.

Objekty CVs objavili a študujú astronómovia v mnohých galaxiách. Ich prítomnosť v gu-

ľových hviezdokopách, ktorých vzdialenosť i vlastnosti hviezd dobre poznáme, umožňujú oveľa presnejšie zmerať vlastnosti CVs. CVs sa totiž významne podielajú na evolúcii kopy aj preto, že aj ich vývoj ovplyvňuje husté prostredie v kope.

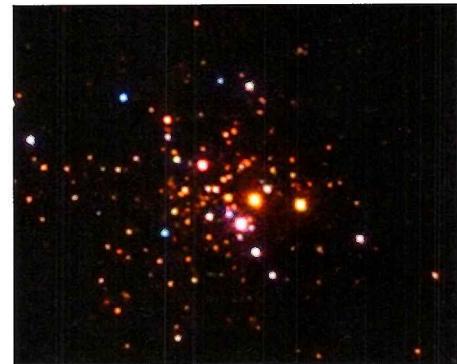
Z modelov vyplýva, že v guľovej hviezdokope by v priebehu 10 miliárd rokov malo „dozriet“ zhruba 200 CVs. Teda oveľa viac, ako v kôpach vedci doposiaľ objavili. Objekty CVs sa však neobjavujú ľahko, pretože žaria slabovo a v hviezdam preplnenom prostredí sa ľahko rozlišujú.

Objav 22 CVs v guľovej hviezdokope 47 Tucanae zaokruhľil celkový počet týchto objektov, ktoré sa v nej nachádzajú, na 47. To je oveľa viac, ako sa doteraz našlo v iných hviezdokopách. Vedcov zarazilo, že jasných CVs tam bolo menej ako predpokladali.

Vo väčšine guľových hviezdokopov pozorujeme postupný nárast hustoty hviezd smerom k ich centru (ide o tzv. scenár kolapsu jadra). Podľa tohto scenára zvyšujúca sa hustota spôsobuje čoraz častejšie interakcie hviezd. Nárast poč-

tu interakcií sa prejavuje formovaním viacnásobných sústav aj typu CVs. Vedci sú presvedčení, že v centre 47 Tuc ešte ku kolapsu jadra nedošlo. Iba tak si dokážu vysvetliť nízky počet jasných CVs. Z analýzy uvedených faktov vyplynulo, že populácia CVs v 47 Tucanae je kombináciou primordiálnych a iných CVs, ktoré sa dynamicky sformovali v ranej fáze evolúcie kopy.

Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, E. G.



V guľovej hviezdokope 47 Tucanae objavili doteraz najviac dvojhviezd typu CVs. Zložkami takej dvojhviezdy sú biely trpaslík a bežná hvieza s nižšou hmotnosťou.

Viacnásobný kanibalizmus v hustých hviezdokopách

Ked' detektor LIGO prvý raz zaznamenal na svojich identických zrkadlách ozvenu gravitačných vln, nebola to iba ich prvá detekcia. Tento objav definitívne potvrdil aj existenciu dvojitéj stelárnej čiernej diery.

Dvojité stelárne čierne diery sa sformujú vtedy, keď dve čierne diery, pozostatky po kolapsoch hmotných hviezd, začnú obiehať okolo spoločného tažiska. Pomerne často sa stáva, že obe čierne diery napokon gravitačne splynnú. Počas tejto kolízie sa uvoľní obrovské množstvo energie vo forme gravitačných vln, ako to vyplýva z Einsteinovej teórie relativity.

Carl Rodriguez z Massachusetts Institute of Technology (MIT) predpokladá, že plod splynutia dvoch stelárnych čiernych dier, ktorý prevzal väčšinu ich hmotnosti, môže splývať ďalej, dokonca niekoľkokrát. Takže malých čiernych dier ubúda, zatiaľ čo veľkých, hmotnejších je čoraz viac. Gravitačné splyvania druhej generácie čiernych dier by sa mohli odohrávať v guľových hviezdokopách, zhlukoch hviezd pohybujúcich sa obvykle na okrajoch galaxií. Každá z nich obsahuje stovky až tisíce miliónov hviezd.

Rodriguez: „V každej takejto kope sa nachádzajú stovky, ba tisíce čiernych dier, ktoré pomerne rýchle postupujú do jej stredu. V hustnúcom prostredí sa hojne formujú viacnásobné sústavy. Aj také, ktorých zložkami sú dve čierne diery. V takom prostredí sa sice celkový počet čiernych dier znižuje, no tých hmotnejších je čoraz viac.“

Vedci z tímu okolo LIGO tvrdia: „Ak objavíme dvojhviezdu s jednou čierной dierou, ktorá má vyššiu hmotnosť ako $50 M_{\odot}$, môžeme predpokladať, že taký objekt deštruuje jednotlivé hviezdokopy, ktorých je v hustnúcom prostredí čo-

raz viac, a nabaľuje ich pozostatky. Možno už zajtra objaví LIGO čiernu dielu s oveľa vyššou hmotnosťou, ako mávajú bežné stelárne čierne diery.“

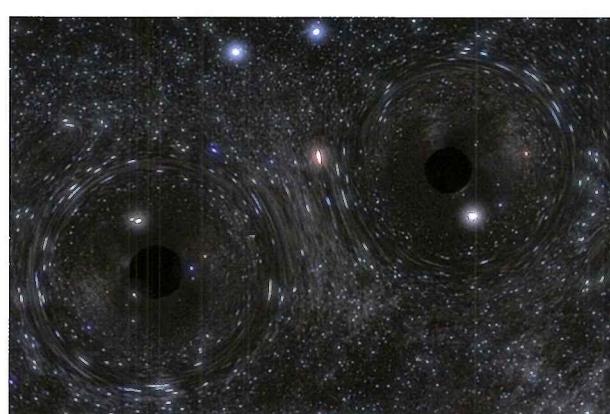
Rodriguezov tím študuje čierne diery v guľových hviezdokopách už dlho. So zámerom rozlíšiť ich interakcie v kope od zrážok v menej hustom prostredí.

Guľové hviezdokopy sa vyskytujú vo väčšine galaxií, pričom ich počet závisí od veľkosti hviezdnego ostrova. Napríklad veľké elliptické galaxie hostia desiatky tisíc takýchto objektov, v Mliečnej ceste je ich zhruba 200. Najbližšia kopa sa nachádza vo vzdialenosťi 7 000 svetelných rokov od Zeme.

Superpočítač Quest z Northwestern University v Evanstone pomohol tímu z MIT nasimulaovať komplexné dynamické interakcie v 24 hviezdokopách. S populáiami 200 000 až 2 milióny hviezd s rozličnou hustotou a zložením. Simulácia modeluje evolúciu jednotlivých hviezd v týchto kôpach počas 12 miliárd rokov, monitoruje ich interakcie s inými hviezdami, pričom sleduje aj formovanie a vývoj čiernych dier. Po sformovaní každej čiernej diery simuluje model aj jej aktuálnu trajektóriu.

Rodriguez: „Vieme, že hmotné čierne diery postupujú smerom do stredu kopy. Tam sa formuje najviac dvojitéj čiernych dier. Každý z týchto objektov sa stáva obrovským 'atraktorom', ktorý 'stahuje' z obehu' približujúce sa hviezdy a čierne diery.“

Zo simulácií vyplynul významný poznatok: Newtonova teória gravitácie platí v 99,9% prípadov. Tých niekoľko málo prípadov, keď nefunguje, zrejmé tvoria tesné viacnásobné sústavy, ktorých zložkami sú dve čierne diery. Vyskytujú sa vo väčšine galaxií.



Formovanie sústavy dvoch čiernych dier uprostred hustej hviezdokopy na obrazovke superpočítača.

LI. Žeň objevů 2016 A

1.2.6.2. Jednotlivé periodické komety

M. Pajola aj. využili snímků z kamery *High Resolution Imager* na sondě *Deep Impact* získaných během průletu (projekt *EPOXI*) kolem komety 103P/Hartley 2 dne 4. 10. 2010 ke klasifikaci rozložení balvanů s průměry >10 m na povrchu komety. Autorům se podařilo identifikovat 332 balvanů, tj. s hustotou četnosti 140 balvanů na 1 km². Jádro komety ve tvaru burského oříšku vykazovalo na obou lalocích stejnou závislost četnosti balvanů na jejich rozměrech. Funkce četnosti klesala s velikostí balvanů exponenciálně s koeficientem -2,7. To je podstatně nižší hodnota než pro stejnou závislost na kometě 67P (koeficient -3,6). Také tvar balvanů s rozdíly >30 m na kometě Hartley 2 je obecně mnohem více protáhlá než na kometě 67P. Ještě více se však liší od téměř kulatých balvanů na planetkách (25143) *Itokawa* a (433) *Eros*, které vznikaly při srážkách. Z těchto srovnání vyplývá, že balvanů na planetkách a na kometách mají odlišný původ.

M. Ishiguro aj. popsali aktivitu komety Jupiterovy rodiny 15P/Finlay (objev 1886; a = 3,5 au; q = 0,98 au; e = 0,72; i = 7°; P = 6,5 r; průchod přísluním 27. 12. 2014) v polovině prosince 2014 a v polovině ledna 2015. Při druhém zjasnění na 8 mag vyvrhovala plyn (většinou C₂ a CN) a prachové částice (převážně porézní silikáty a organická zrňka o typických rozměrech 0,3 μm – 1 mm) průměrnou rychlosťí 1,1 km/s. Během každého zjasnění tak uvolnila až 10⁹ kg prachových částic. I když toto množství prachu je zhruba o tři rády menší, než kolik se uvolnilo při spektakulárním výbuchu komety 17/Holmes v r. 2007, kinetická energie na jednotku hmotnosti 10 kJ/kg je byla pro obě komety srovnatelná a souhlasila také s odpovídající energií na jednotku hmotnosti uvolněnou při výbuchu komety 332P/Ikeya – Murakami (objev 3. 11. 2010; průchod přísluním 13. 10. 2010 ve vzdálenosti 1,6 au), který začal 18 dnů po průchodu přísluním a trval 4 dny. Odtud autoři usoudili, že ve všech případech měl výbuch shodnou fyzikální příčinu. Pravděpodobně šlo o náhlou krystalizaci amorfního vodního ledu uloženého pod povrchem kometárního jádra vyvolanou pozvolným prostupem tepla do podpovrchových vrstev komety. Ze zpráv o výbuších komet Jupiterovy rodiny a krátkoperiodických komet s drahami podobnými kometě 2P/Encke lze odhadnout, že v průměru se odehrávají alespoň 3 takové výbuchy během dvou let a průměrná dodávka prachu do interplanetárního prostoru dosahuje tempa >10 kg/s.

M. Ishiguro aj. pozorovali širokoúhlou (2,2°) kamerou připojenou ke Schmidtovu 1,05m teleskopu observatoře v *Kiso* kometu 17P/Holmes při jejím prvním návratu ke Slunci (přísluní 27. 3. 2014 v heliocentrické vzdálenosti 2,05 au; oběžná perihelie 6,9 r) po již zmíněném epochálním výbuchu po předešlém přiblížení v r. 2007. Na sérii snímků z 22. 9. 2014 pořízených v době, kdy byla kometa vzdálena od Slunce 2,5 au a od Země 2,0 au, se autorům podařilo objevit jednak čerstvě vymrštený prach ze současněho přiblížení ke Slunci, ale též dlouhou úzkou strukturu v pozici úhlu 275°, která obsahuje prach uvolněný z jádra komety při rekordním výbuchu po předešlém přiblížení. Typické rozměry prachových částic v této struktuře se pohybují v rozmezí 1 – 10 mm a vzdalují se od jádra rychlostmi ~50 m/s. Celková hmotnost materiálu vyvrženého během výbuchu v r. 2007 činí $\sim 6 \cdot 10^{11}$ kg a jeho kinetická energie rádově 10 PJ. Y. G. Kwonová aj. sledovali kometu 17P po od května 2013 do března 2015 pomocí šesti teleskopů pěti observatoří severní i jižní polokoule. Produkce prachu stoupala zvolna během přiblížování ze vzdálenosti 3,1 – 2,6 au, ale zvýšila se o 80 % proti prvním měřením ve vzdálenosti 2,2 au. Po průchodu přísluním však rychle klesala až na pouhou třetinu počáteční hodnoty. V porovnání s předešlým průchodem přísluním se tak snížila o pět rádů. Také aktivní plochy na jádru komety se zmenšily před přísluním 2014 na třetinu a po přísluní na setinu v porovnání s jejich rozsahem v přísluní 2007. Prachový plášt jádra komety má nyní tloušťku jen ~60 mm. Z toho vyplývá, že obecně jádra vyhaslých komet přišla při minulých ohřevech u Slunce o těkavé prvky (ledy) a pokrývají se naopak žáruvzdornými prvky, které nachytají ve vnitřních částech Sluneční soustavy. Kometa 17P se tak obalila tenkým ne-propustným pláštěm během jediného oběhu kolem Slunce.

R. Miles aj. se věnovali v sérii článků proslulým kvaziperiodickým výbuchům komety 29P/Schwassmann-Wachmann. Pozorovali kometu v letech 2012–2012 a znova v létě 2014 a využili také archivních pozorování pomocí *HST* z března r. 1996. Zjistili, že výbuchy mají velmi strmný průběh a po dosažení maxima jasnosti následuje povlovný pokles. Ledová zrňka mají obvykle shodnou rychlosť kolem 260 m/s, což odpovídá sublimaci ledů CO a N₂ při teplotě ~24 K. Nesouměrná vějířová koma dosahuje maximální jasnosti 5 – 6 d po výbuchu. Jelikož se výbuchy opakují v periodách 52 – 65 d, autori odhadují, že jádro komety rotuje v periodě ~ (59 ± 4) d. Úniková rychlosť z jádra komety je poměrně vysoká (~18 m/s), tak valná část vyvržených ledových zrnek se po balistických drahách vrací zpět na povrch jádra. Tento hromadný návrat může občas vyvolat nový výbuch na jiném místě povrchu komety. I když výbuchy ustanou, kolísá jasnost jádra komety s amplitudou ±0,25 mag v intervalech 2 – 10 d. To znamená, že jádro je mírně aktivní díky krátkodobým slabším výtryskům po větší části povrchu.

R. Miles v dalších dvou pracích pak ukázal, že kvaziperiodické výbuchy na této kometi nemohou být vyvolány krystalizací amorfního vodního ledu, ale nějakým jiným mechanismem společným pro 10 – 15 % periodických komet. Studioval totiž navíc údaje o dalších 16 kometách, jež jeví kvaziperiodické výbuchy s amplitudou >2 mag, a které se navzdory tomu neropadají. Podle jeho domněinky jsou tyto výbuchy způsobeny roztažením kometárních ledů a exotermickým rozpouštěním plynů, zejména CO a CO₂ pod tlaky 10 – 200 kPa. Podobně se pak rozpouštějí silně těkavé plyny O₂ a N₂ v kapalném methanu a dalších uhlovodicích při tlacích > 80 kPa. Výhodou pro účinnost těchto procesů je pomalá rotace příslušných kometárních jader. Podle autorových výpočtů toto exotermické rozpouštění probíhá při teplotách 65 – 95 K, a to až do heliocentrických vzdáleností 15 au. Navíc se tak dají vysvětlit i mimořádně mocné výbuchy u komety Jupiterovy rodiny (viz kometa 17P/Holmes), kde se při teplotách 150 – 200 K rozpouští CO₂ ve vodním roztoku methanolu (CH₃OH). U komety 29P se mu na základě archivních dat o výbuších z let 2002–2014 podařilo navíc lokalizovat na povrchu jádra výbuchy s periodicitou (57,6 ± 0,4) d, což znamená, že jde o stabilní zdroj (*kryovulkán*), v němž se tuhý methán pod povrchem jádra začíná při tlaku >12 kPa tavit a pohlcovat silně těkavé plyny, což se projevuje periodickými výbuchy.

Počátkem r. 2016 pozorovali P. Dekelver aj. pokračující rozpad krátkoperiodické (P = 5,4 r) komety 332P/(Ikeya-Murakami) objevené po průchodu přísluním jako C/2010 V1 během výbuchu v říjnu 2000, a znova pozorované o pět let později jako P/2015 Y2. Ještě 4. 1. 2016 se kometa skládala jen ze dvou složek A (20,6 mag) a B (22,5 mag), ale už 8. 1. se objevila další oddělená složka C (22 mag), a 18. 1. složka D (22,5 mag). Některé složky brzy zmizely, takže 29. 1. už zbyly jen složky A (20,2 mag) a C (19,8 mag). K tomu poznamenal Z. Sekanina, že zpětně se ukazuje, že velký výbuch komety v r. 2010 měl závažnější dopad na štěpení komety, než se zprvu zdálo. Již počátkem prosince 2012 započal totiž proces kaskádového štěpení komety, když se od hlavního jádra komety oddělil úlomek A relativní rychlosť 0,4 m/s. Ve skutečnosti hlavní složkou komety je úlomek C, jenž byl dlouho pasivní a projevil se aktivitou až 8. 1. 2016. Sekanina dále odhadl, že složka B se oddělila od hlavního jádra někdy mezi druhou polovinou r. 2013 a první polovinou r. 2014. Složka D se patrně oddělila až v polovině října 2015. Mezitím několik dalších skupin pozorovatelů objevilo 3. 2. úlomek E (20 mag); úlomek F počínaje 5. 2. (22 mag) a úlomky G a H (oba 21 mag) a 9. úlomek J (22,6 mag) dne 6. 2. Také J. Kleyna aj. dospěli k závěru, že fragmentace komety probíhala během návratu komety do odsluní až do r. 2014. Příčinou výbuchů a následných štěpení jader je zřejmě krystalizace amorfního vodního ledu postupujícím ohřevem dovnitř jádra. D. Jewitt aj. na základě snímků komety pomocí *HST* odhadli čas rozvoje fragmentací na říjen–prosinec 2015. Jednotlivé úlomky odpadaly rychlosťmi 0,06 – 3,5 m/s. Řada menších úlomků se brzy roztočila takovou úhlovou rychlosťí, že se rozpadla odstředivou silou. Průměr hlavního jádra odhadli na 0,55 km.

M. DiSanti aj. popsal mechanismus postupného rozpadu komety D/2012 S1 (ISON), jež patřila do komet otírajících se o Slunce. Autoři sledovali její rozpad pomocí infračervené fotometrie a spektroskopie teleskopy Keck II a IRTF (NASA) na sopce Mauna Kea v době, kdy kometa byla ještě daleko od Slunce ($1,2 \div 0,3$ au). Produkce vodní páry se během té doby zvýšila o dva řády. Podily těkavých plynů (CO , C_2H_6 a C_3H_8) vůči vodní páře se během té doby vůbec neměnily. Methanol (CH_3OH) byl potlačen pro vzdálenosti $> 0,5$ au, ale pro menší vzdálenosti se zachoval. V těchto menších vzdálenostech zesílilo zastoupení čpavku, formaldehydu a kyanovodíku. J. Keanová aj. pak sledovali postup destrukce komety ISON ve vzdálenostech $0,31 \div 0,08$ au od Slunce (kometa prošla přísluním 28. 11. 2013 ve vzdálenosti necelé 2 mil. km od Slunce v mikrovlnném pásmu spektra (450 a 850 μm)). Také infračervené snímky získané během průletu ISON přísluním odhalily postupné rozprášení komety. Rozptýlený prach dosáhl hmotnosti $5 \cdot 10^{10}$ kg.

Z. Sekanina a R. Kracht upozornili na skupinu geneticky příbuzných komet, které mají téměř shodné geometrické dráhy, ale liší se časy průchodu přísluním. Zcela určitě tyto genetické rodiny vznikly rozpadem jedné mateřské komety. I zcela malé rychlosti rozpadu řádu 1 m/s způsobí, že se časy průchodu přísluním rozejdou o celé roky až desítky let. Autoři tak prokázali, že komety C/1988 A1, C/1996 Q1 a C/2015 F3 jsou geneticky sprízněny. Navíc je pravděpodobné,

že do téže rodiny patří také záhadný objekt pozorovaný na Lickově observatoři při západu Slunce 7. 8. 1921. Podrobným pátráním se autorům podařilo prokázat, že i tento objekt a zmíněné tři novodobé komety geneticky souvisejí s kometou C/1847 (Hindl), jež oběžná perioda dosahuje 8,3 tisíce (!) let a v přísluní se přibližuje ke Slunci na vzdálenost $8 R_\odot$ (!!). Přestože mezi kometou z Licku a třemi dalšími je velký rozdíl v časech průchodu přísluním, lze jej jednoduše vysvětlit tím, že mateřské těleso se rozpadalo na úlomky rychlostmi do 1 m/s. Podle výpočtu obou autorů došlo k rozpadu pramáti této rodiny během přísluní přibližně v 7. tisíciletí př. n. l.

Jak uvedli P. Jenniskens a J. Vaubaillon, kometa 252P/LINEAR objevená 7. 4. 2000 s oběžnou periodou 5,3 roku se 21. 3. 2016 přiblížila k Zemi na minimální vzdálenost 5,3 mil. km. V lednu 2016 se od ní oddělil úlomek P/2016 BA14 (PANSTARRS), který se 22. 3. přiblížil k Zemi na 3,6 mil. km. Hlavní složka dosáhla maxima jasnosti (6 mag) koncem března 2016. Autoři propočítali předchozí trajektorie komety, z nichž vyplynulo, že kometa by mohla být příčinou slabého meteoričkého roje s geocentrickým radialem $a = 3$ h 12 min; $\delta = -16^\circ$ a se vstupní rychlosťí do zemské atmosféry 11,1 km/s. Šlo o meteoroidy uvolněné z jádra komety během návratu ke Slunci v letech 1824–1926. Platnost této domněnky se však nepodařilo prokázat.

Konec dílu A

LI. Žeň objevů 2016 B

1.2.6.3. Souhrnné studie o kometách

D. Hines a A.-C. Levasseurová-Regourdová ukázali klíčový význam polarimetrie pro pochopení složení a vývoje prachové složky kometárního materiálu. V poslední době se podařilo díky polarimetrii na HST získat významné údaje o prachové složce komety C/2012 S1 (ISON a 67P/Čurjumov-Gerasimenková). Polarimetrie komety 67P navíc probíhala současně s počátkem činnosti sondy Rosetta na oběžné dráze kolem komety i s přistáním modulu Philae na kometě. E. Hadamcová a A.-C. Levasseurová-Regourdová rovněž publikovaly polarimetrické snímky prachu komety 73P/Schwassmann-Wachmann 3 pomocí 0,8m reflektoru na observatoři OHP ve Francii. Sedm dnů na rozhraní dubna a května pozorovaly každou noc úlomky B a C a po dvě následující noci také úlomek G, slabší než B, zatímco úlomek C vypadal téměř jako původní kometa. Stupeň polarizace tohoto úlomku se však časem výrazně měnil a různé části úlomku jevily v daném času odlišnou polarizaci. Autorky usoudily, že jádro komety se tvořilo ze stavebního materiálu stejnorođého chemického, ale heterogenního fyzikálního složení.

E. Zubko aj. se zabývali stanovením podílu prachové složky komet na jejich celkové hmotnosti a chování. Pozorování komet pomocí úzkopásmových filtrů umožní odhadnout podíl plynné složky, ale integrální jasnost komety závisí na odrazivosti prachové složky. Proto je tak důležité měření stupně polarizace záření komety. Autoři propočítali řadu modelů a použili je pak k interpretaci polarizačních měření šesti komet. Podle očekávání velmi vysokou polarizaci vykázala kometa C/1995 O1 (Hale-Bopp), zatímco nejnižší stupně polarizace naměřili autoři u komety C/1975 N1 (Koabayashi-Berger-Milon) a 23P/Borssen-Metcalf. Autoři varují, že obecně se podíl prachové složky přečeňuje a ve skutečnosti je několikrát nižší, než si myslíme.

P. Dybczynski a M. Królikowska se soustavně zabývají hledáním zdroje (resp. zdrojů) dlouhoperiodických komet. Dosavadní výzkum totiž nepříznivě ovlivňuje silné negravitační efekty v trajektoriích komet v okolí přísluní. Proto se autoři zaměřili na studium dráhových oblouků co nejdále od Slunce. Namísto dlouhodobých průměrných dráh volili pro identifikaci zdrojů kratší časové intervaly pokryvající jen současnou oskulační dráhu, a pro ni zavedli opravy na odhadované negravitační efekty, přičemž polohy v okolí přísluní při výpočtu zcela vynechali. Dosud takto prozkoumali dráhy více než stovky dlouhoperiodických komet. Tak se ukázalo, že velký počet dlouhopo-

riodických komet měl v minulosti přísluní poměrně hluboko v pásmu planet, takže podrobný profil křivky 1/a, která vedla J. Oorta k domněnce o zásobárně kometárních jader v mrazivých hloubinách Sluneční soustavy ve vzdálenostech desítek tisíc au, je nepřesný. Na druhé straně tvrzení, že tandem Jupiter-Saturn brání většině panenských komet, aby se probojovaly do blízkosti terestrických planet, není kategorické. Nezanedbatelný počet dlouhoperiodických komet ve skutečnosti snadno proklozne. Zato gravitační poruchy kometárních dráh od blízkých hvězd jsou v podstatě zanedbatelné.

S. Lorek aj. si položili otázku o vzniku komet ve Sluneční soustavě. Obecně se soudí, že jsou pozůstatkem ledových planetesimál, které vznikly za hranicí sněžné čáry kolem Slunce. Postupně se však ukázalo, že proces růstu mikrometrových prachových a ledových zrnek na tělesa kilometrových rozměrů má řadu neznámých, protože není hladký, a přitom se uskutečnil v astronomicky velmi krátkém čase. Rozsáhlé počítacové simulace umožnily autorům studovat dění při gravitačním hroucení zárodečného prachoplynového mračna Sluneční soustavy. Propočítali vývoj čtyř zárodečných mračen v rozsahu hmotnosti $2,6 \cdot 10^{11} \div 2,6 \cdot 10^{20}$ kg. Během zahušťování mračen s původní hmotností $\geq 2,6 \cdot 10^{14}$ kg se prachová a ledová zrna srážejí a vznikají řadově centimetrové oblázky s poměrem silikátového prachu k ledové složce $0,5 \div 10$. S rostoucí hmotností zárodečného mračna stoupá v oblázcích podíl ledových zrnek. Typickou hustotu dobře proměněných kometárních jader (50 % hustoty vody v pozemských podmínkách) lze proto objasnit tím, že zárodečné mračno mělo spíše vysokou hmotnost.

K. Sárnecký aj. analyzovali údaje o aktivitě 50 dlouhoperiodických komet v heliocentrických vzdálenostech $> 5,2$ au, kde komety nejsou příliš ovlivněny Sluncem, takže jejich aktivitu vyvolávají vnitřní poměry v jádrech. Během posledních 10 let autoři shromáždili údaje o kometární aktivitě pomocí indexu Afp , jenž závisí na jejich albedu, rozsahu prachové komy, rozměru zorného pole, geometrické vzdálenosti od Země a Slunce, a poměru velikosti vlastního vyzařování komety k ozáření Sluncem ve vzdálenosti 1 au. Autoři ukázali, že u dynamicky panenských komet je tato aktivita podstatně vyšší než vlastní aktivita krátkoperiodických komet. Panenské komety mají souměrnou komu, na rozdíl od krátkoperiodických komet, kde je koma výrazně nesouměrná a produkce prachu a plynu silně kolísá v čase. Mnoho komet vytváří dlouhý úzký chvost, jehož intenzita nezávisí na jasnosti komety.

Závěrečnými fázemi života 73 dlouhoperiodických komet s oběžnými periodami $200+1\ 000$ let a přísluními $<2,5$ au se zabývali J. Fernández aj. Šlo o komety objevené v letech 1850–2014. Ukázalo se, že většina zkoumaných komet má za sebou 200–300 průletů přísluním a zjevně pocházejí minimálně ze dvou zdrojů. Jedním z nich jsou *Kentauři* mezi Jupiterem a Neptunem a dalšími komety *Halleyovy a Jupiterovy rodiny komet*. Dosud se za dlouhoperiodické komety považovaly objekty s oběžnou dobou >200 let, ale podle této práce by se mělo toto rozhraní snížit na 125 let.

1.2.7. Meteory a meteorické roje

R. Blaauw aj. navrhli novou metodu pro měření intenzity kolektivní optické jasnosti meteorických rojů vůči sporadickému pozadí. Zatímco dřívější metoda měřila optický tok ve stále stejně výšce 100 km, autoři ji rozšířili do 3D prostoru. Měří totiž při jasné obloze mezní hvězdnou velikost každých 10 minut a kalibrují světelný tok radiantu sporadického pozadí i příslušného meteorického roje, a také světelný tok v různých výškách ve 2 km výškových intervalech. Teprve tímto postupem získávají realistické hodnoty hmotnosti materiálu sporadických, resp. rojových meteoroidů. Tento postup si ověřili při pozorování maxima meteorického roje *Perseid* v noci 13. 8. 2015 pomocí šesti širokoúhlých kamer. V maximu získali specifickou hmotnost toku Perseid 0,003 g, která pak klesala až na 0,000 5 g. Přepočtená zenitová hodinová frekvence dosáhla 101 met/h.

N. Rudraswami aj. zkoumali proces ablace a chemických změn, jímž procházejí meteoroidy během hypersonického průletu zemskou atmosférou. Jedině tak lze zpětně stanovit jejich fyzikální, mineralogické a chemické vlastnosti před vstupem do atmosféry. Autoři propočítali tyto změny pomocí sítě modelů, v nichž uvažovali postupně vstupní rychlosti meteoroidů do zemské atmosféry 11 km/s a 16 km/s pro zenitové úhly 0°–70° a rozmezí meteoroidů 100–400 µm. Tak se ukázalo, že meteoroidy mohou přežít bez velkých mineralogických a chemických změn při šíkmém vstupu v zenitových vzdálenostech 30°–90° a minimální vstupní rychlosť 11 km/s. Tehdy se zachová zastrupení sloučenin MgO, SiO₂ a FeO. Jakmile však rozměry částic dosáhnou 400 µm, hráje ablaci materiálu meteoroidu významnou úlohu a přežijí jedině záruzdorné prvky Al a Ca. Při rychlostech 16 km/s se vinou ablaci větší meteoroidy zcela vypaří. Olivínová složka meteoroidu s podílem Fe/Mg >0,8 se začne tavit při teplotě 1 730 K a zcela se odpará při 1 800 K. Autoři odhadli, že díky pomalým meteoroidům vstupujícím do atmosféry pod zenitovými úhly >30° získává Země hmotnost 20 tis. t/r.

Jak uvedli J. Madiedo aj., proletěl nad Španělskem 10. 7. 2012 denní bolid s absolutní hvězdnou velikostí -4,5 mag a velmi dlouhým trváním 17 s. Šlo zřejmě o dosud nejslabší pozorovaný tečný bolid a současně o první případ, kdy příslušný meteoroid patří k meteorickému roji (*denní ξ-Perseidy*). Autoři odhadli vstupní hmotnost meteoroidu v rozmezí 1,5–115 kg, jenž na svítici dráze v zemské atmosféře dlouhé 510 km ztratil ablaci až 260 g své hmoty. Tímto průletem se na jeho povrchu vytvořila tuhnoucí kůra a výrazně se změnila i geometrie jeho budoucí dráhy ve Sluneční soustavě.

P. Jenniskens a M. Breukers informovali o aktivitě červencových **γ-Drakonid** zaznamenané holandskou stanici *CAMS* (*Cameras for Allsky Meteor Surveillance*) ve dnech 27. a 28. 7. 2016. Geocentrická rychlosť 27 km/a a dráhové elementy poukázaly na zdroj s délkou velké poloosy (27 ±4) au, což je podobné dráze komety *1P/Halley*. Dvouhodinovou aktivitu roje zaznamenal také P. Brown díky pozorování kanadského meteorického radaru *CMOR* přesně o půlnoci UT z 27. na 28. 7.

Počátkem srpna 2016 uveřejnil P. Jenniskens předpověď **mimořádně vysokého maxima Perseid**, protože podle jeho výpočtů posunuly gravitační poruchy od Jupiteru dráhu jádra roje směrem k průsečíku se Zemí. To se několikrát odehrálo už dříve: v letech 1980, 1992 a 2004 v heliocentrických délkách 140,00–140,19°. Navíc by podle dřívějších výpočtů J. Vaubaillona mělo dojít ke střetávání s meteoroidy uvolněnými z mateřské komety *109P/Swift-Tuttle* před jedním, čtyřmi a sedmi průchody komety přísluním, resp. s filamentem obsahujícím ještě dříve uvolněné částice díky dráhovým rezonancím. Meteoroidy uvolněné během sedmého přísluní by měly procházet 12. 8. 2016 v ranních hodinách UTC ve vzdálenosti jen 34 tis. km od Země. Naproti tomu meteoroidy z prvního minulého přísluní v r. 1862 by podle M. Maslova měly prolétat v minimální vzdálenosti 200 tis. km od Země již 11. 8. v pozdních nočních hodinách UTC. Tento autor dále spočítal, že

prachové částice uvolněné z jádra komety během přísluní v r. 1479 by měly zvýšit maximální frekvenci z obvyklých 85 met/h na 125 met/h. Ještě vyšší maximální frekvenci 135 met/h v r. 2016 předpověděli D. Moser a B. Cooke pro světovou půlnoc 12./13. 8. Podle P. Jenniskense se zmíněné předpovědi docela trefily. Pozorování z mnoha stanic *Mezinárodní meteorické organizace* ukázala, že během 12. 8. činila maximální zenitová frekvence *Perseid* v intervalu 22:19–23:19 h UTC dokonce 140 met/h a vyvrcholila téměř půlhodinovým zvýšením frekvence na 190 met/h kolem času 23:22 UTC (heliocentrická délka 139,47°). Podle Jenniskense a M. Koopa se Země potkala s filamentem 13. 8. v čase 8:10 h UTC (heliocentrická délka 139,82°). H. Sugimoto oznámil, že frekvence *Perseid* měřená japonským meteorickým radarem dosáhla maxima 270 met/h v heliocentrické délce 139,47°.

V r. 2005 došlo podle P. Jenniskense k objevu nového meteorického roje **Camelopardalis** s geocentrickou rychlosť 45 km/s. Pro rok 2016 předpověděl E. Lyytinen maximum činnosti roje na odpolední hodiny 5. 10. (heliocentrická délka 192,56°). Vizuálně byly v tom období pozorovány jen tři rojové meteory, ale H. Sugimoto ohlásil vysokou radarovou frekvenci s maximem 5.10. ve 14:45 h (heliocentrická délka 192,56°). Lyytinen odtud zlepšil dráhové parametry dosud neobjevené mateřské komety: oběžná doba ~750 let, vzdálenost přísluni 0,99 au, e =0,93, i = 77°; vyvržení meteoroidů při průchodu přísluním v r. 1255.

M. Passas aj. pořídili 16. 10. 2014 kvalitní spektrum **bolidu** -2,5 mag na rozhraní červeného a infračerveného pásmu (700–800 nm). Nalezli v něm jednak atmosférické čáry dusíku a kyslíku, ale hlavně čáry meteoroidu Cr I, Fe I, Fe II, Zr I, Pd I a W I). Maximální teplota plazmatu kolem meteoroidu dosáhla 1,5 kK. Jelikož dráha bolidu byla souběžně snímkována na dvou stanicích, ukázalo se, že šlo meteoroid z pravidelného meteorického roje *Orionid*, takže nyní máme poprvé nepřímý údaj o zastoupení těchto prvků v jádře *Halleyovy komety*, jež je mateřskou kometou *Orionid*.

A. Olech s rozsáhlým týmem pozorovatelů popsali průlet dvou jasných bolidů z meteorického roje *Jižních Taurid* nad Polskem v nočních hodinách 31. 10. 2015. První bolid *PF311015a Okonek* byl naznamenán na šesti stanicích polské bolidové sítě *PFN*. Vstoupil do atmosféry rychlosť 33 km/s a začal svítit ve výšce 118 km. Proletěl svíticí dráhu o délce 60 km a na jejím konci se zpomalil na 30 km/s. Maximální jasnosti -16 mag dosáhl ve výšce 82 km. Druhý bolid *PF311015b Ostrowite* byl rovněž zachycen 6 kamerami *PFN*. Měl stejnou vstupní rychlosť a svítit začal ve výšce 108 km a svítil až do výšky 58 km nad zemí. Maximální jasnosti -15 mag dosáhl ve stejně výšce jako jeho předchůdce. Heliocentrické dráhy obou bolidů se shodují s dráhou *Jižních Taurid* i mateřské komety *2P/Encke*, ale podobají se též druhám planetek *2005 UR* a *2005 TF₅₀*. Při rekonstrukci dráhy prvního bolidu autoři zjistili, že při mimořádné aktivitě roje v říjnu 2005 proletěl příslušný meteoroid v těsné blízkosti Země. Vypadá to, že všechny zmíněné objekty jsou pozůstatky po větší srážce původního tělesa s jiným objektem.

J. Jones aj. zpochybňili souvislost bohatého a stabilního meteorického roje **Geminid** s planetkou (3200) *Phaeton*. Využili k tomu současně databáze o tomto roji, z nichž vyplývá, že úniková rychlosť meteoroidů pozorovaných v roji při různých návratech nesouhlasí s únikovou rychlosťí ze zmíněné planetky – tato rychlosť je minimálně třikrát nižší. Pokusili se najít jiný zdroj Geminid pomocí dráhových parametrů planetek *2005 UD* a *1999 YC*, ale neuspěli. Objevili však, že planetka *2005 UD* je zdrojem denního meteorického roje *Sextandid*. Nezávisle na této studii narazila na problém zdroje i G. Ryabova, když předpokládala, že mateřským objektem *Geminid* je planetka *Phaeton* a simulovala, co se stane, když z planetky odlétají mikrometeoroidy s hmotnostmi v rozmezí 0,3 mg až 0,02 g. Jenže jí tak vyšlo, že šířka roje *Geminid* by byla minimálně dvakrát menší než pozorovaná. Kromě toho nesouhlasí ani heliocentrická délka maxima roje o celý den. Autorka to objasňuje velkou změnou dráhových parametrů planetky v době, kdy došlo k hlavnímu výtrysku těkavých látek z tělesa planetky. Musíme se zřejmě smířit s tím, že původ nebohatšího pravidelného meteorického roje pozorovaného každoročně je znovu nejasný.

P. Jenniskens a J. Baggaley oznámili, že stanice *CAMS* na Novém Zélandu zaznamenaly 31. 12. 2015 v rozmezí 3,5 h aktivitu nového meteorického roje **Volantid** (Létající ryba) s poměrně jasnými meteory v rozmezí -2–3 mag. Odtud odvodili polohu radiantu i geocentrickou rychlosť 28 km/s. Dráhové elementy roje poukazují na zdroj v Jupiterově rodině komet, ale identifikovat konkrétní kometu se zatím nepodařilo.

P. Jenniskens aj. provozují s podporou NASA od r. 2010 síť čtyř stanic projektu **CAMS** (Mt. Hamilton, Kalifornie; Gainesville, Florida; Baltimore, Maryland; Flagstaff, Arizona), jehož cílem je rozpoznat jednotlivé **zdroje rojových i sporadických meteorů** na základě sledování jejich svítících drah v zemské atmosféře. Na každé stanici bylo instalováno 20 širokoúhlých kamer, jež dokáží určit polohu radiantu s přesností vyšší než 2° a vstupní rychlosť s přesností $<10\%$. Pro bohatší meteorické roje je přirozeně přesnost výsledků mnohem vyšší. Hlavní výsledky šestiletého provozu autoři zveřejnili ve dvou pracích. Především publikovali přesné orbitální elementy drah 70 meteorických rojů z dosud potvrzených 95 meteorických rojů na základě údajů o trajektoriích více než 110 tis. meteoroidů v rozsahu jasnosti $-2 \div +4$ mag. Kromě toho rozlišili *komplexy komet Encke, Machholz, 169P/NEAT a planetky Phaeton*. Struktura komplexů poukazuje na jejich vznik **kaskádovým rozpadem** mateřských těles během posledních stovek až tisíců let. Například **Severní a Jižní Tauridy** (mateřská kometa *2P/Encke*) ve skutečnosti tvoří 19 oddělených rojů a souvisí s úlomky, jež se pohybují na dráze podobné dráze komety 2P v rozsahu dráhových poloos $2,20 \div 2,35$ au. Dalším důležitým výsledkem projektu je **objev 60 nových meteorických rojů**, takže celkový počet meteorických rojů identifikovaných na severní polokouli stoupil na 230; z toho 177 je nezávisle potvrzeno minimálně jedním dalším nezávislým projektem. Ve skutečnosti však po delším provozu projektu **CAMS** může počet rojů stoupnout až na nějakých 700 zdrojů. Přes 70% hmotnosti částic v rojích pochází z komet a planetek Jupitery rodiny. **Sporadické meteory** jsou nejhojnější ze směru apexu zemské dráhy, ale pokud jde o jejich souhrnnou hmotnost, tak 98% z nich přichází ze zdroje v antiheliu.

L. Neslušan, P. Jenniskens aj. oznámili, že do databáze *Centra pro údaje o meteorech IAU* (MDC) přidali data z projektu **CAMS** za léta 2010–2013 a revidovali údaje z katalogů fotografických pozorování. Veřejně přístupný katalog nyní obsahuje údaje o téměř 5 tis. fotografických a 110 tis. digitálních pozorování drah meteorů.

J. Szalay aj. využili aparatury **Lunar Dust Experiment** (LDEX) na sondě LADEE (*Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer*) obíhající kolem Měsíce k identifikaci meteorických rojů. Aparatura LDEX totíž dokázala zaznamenávat prachové částice vyvrhované z Měsíce při dopadech kometárních či planetkových mikrometeoroidů až do výšek 200 km nad povrchem. Sporadicke pozadí dávalo průměrnou četnost 1 částice/min, ale během činnosti meteorických rojů produkce částic stoupala až o dva řády. Tak se například podařilo zcela jednoznačně pozorovat činnost prosincových **Geminid**. Autoři tak prokázali, že jako *detektor meteorických rojů lze využít kterékoli těleso Sluneční soustavy, které nemá atmosféru*.

I. McCrea aj. uvedli, že moderní meteorologické radary **EISCAT_3D** (*European Incoherent SCATter*) využívající inkoherentního rozptylu na terčích v zemské atmosféře mohou úspěšně a s velkou přesností sledovat také **průlety meteoroidů** zemskou atmosférou s časovým rozlišením 1 ms, prostorovým rozlišením 10 m a určováním přesných trajektorií v rozmezí $200 \div 70$ km nad Zemí. Tyto parametry jim dovolují mapovat i rozložení mikrometeoroidů ve Sluneční soustavě. Odhadu **hmotnosti meteoroidů**, které vstupují do vysoké atmosféry Země, se pohybují v rozmezí $2 \div 200$ t/d. Souběžná radarové a spektrální sledování meteoroidů dovoluje podrobně analyzovat i jejich chemické složení. A. Pellinenová-Wannbergová aj. uvedli, že radary **EISCAT_3D** pracující na frekvenci 233 MHz (1,3 m) s výkonem až 10 MW dávají možnost studovat vlastnosti mikrometeoroidů, jež hypervysokými rychlostmi bombardují sluneční panely umělých družic Země i kosmických sond, čímž je postupně degradují. Nová generace těchto radarů umožní podle autorů pořídit denně průměrně 190 tis. trajektorií meteoroidů v širokém rozsahu rozměrů a hmotnosti. Při snížení frekvence radarů bude možné pozorovat i **čelní ozvěny meteoroidů** ve výškách až 115 km nad zemí.

R. Rudawska aj. ukázali, že souběžně s radarovým pozorováním lze soustavně získávat i optická spektra meteorů pomocí spektrografu **AMOS** (*All-sky Meteor Orbit System-Spec*) instalovaného na observatoři *Modra u Bratislav*. E. Lyytinens a M. Gritsevichová zlepšili metodu určování drah a dalších parametrů jasných meteorů a bolidů tím, že souběžně měří parametry atmosféry, které se dosti výrazně mění v čase i ve směru pozorování. Až dosud se totíž používalo tzv. standardních atmosfér pro jednotlivá roční období, ale to je často zcela zavádějící, protože skutečné parametry zemské atmosféry se neustále mění.

1.3. Sluneční soustava kdysi a dnes

E. Lakdawalla shrnula poslední úspěchy kosmonautiky ve Sluneční soustavě, ale upozornila, že jsme stále na začátku, protože v *Edgeworthově-Kuiperově pásu* se téměř určitě vyskytují stovky aktivních objektů podobných Plutu a Charonu. Zajímavé jsou také aktívni měsíce planet: *Triton, Titan, Enceladus, Io a Europa*, jakož i mnozí *Trójani a Kentauři*.

R. Parker a J. Dale upozornili, jak obtížné je vysvětlit výskyt krátkožijících radionuklidů ^{26}Al a ^{60}Fe během utváření **pramhlhoviny Sluneční soustavy**. Podle starší domněnky byla v té době ještě pohromadě „sluneční hvězdokupa“ obsahující řadu hmotných hvězd s krátkou dobou života, jež posléze vybuchly jako supernovy a obohatily pramhlhovinu radionuklidů. Novější domněnka předpokládá, že v „hvězdokupě“ probíhala tvorba hvězd v časové posloupnosti zániků supernov a vzniku nových pokolení hmotných hvězd zásluhou rázových vln předešlých supernov, čímž se zárodečný materiál sluneční pramhlhoviny postupně téměř plynule obohacoval o krátkožijící radionuklid. Autoři však zjistili, že i tento scénár může fungovat jedině při splnění mnoha nepravidelných fyzikálních podmínek, takže je téměř určitě chybří, podobně jako zmíněná starší domněnka.

S. Arakawa a T. Nakamoto výsli z poznatku, že **silikátová zrnka** v nejstarších meteoritech nepocházejí z interstellárních mračen, ale kondenzují v chondritech na nanometrová zrníčka v rané fázi vývoje Sluneční soustavy. Odtud odvodili, že v *horké sluneční pramhlhovině* se silikáty nejprve ohrály na plyn, který pak zpětně kondenzoval na miniaturní zrníčka, jež se přímo shlukovala, až nakonec vyrostla na kamenné **planetesimály**, jež pak snadno splynuly na protoplanety.

J. Deckers aj. uskutečnili experiment, v němž *centimetrové kuličky tuhého ledu* o teplotě 256 K vstřelovali do decimetrových ledových terčů rychlostmi $15 \div 45$ m/s. Při srážkách se projektily rozpadaly, ale částečky rozpadu uvízly v terči. Přírůstky hmotnosti terče však byly při zmíněných rychlostech a teplotě nepatrné. Vzrostly však při snížení rychlosti kuliček pod 7 m/s. Autoři tak ukázali, že pomálymi srážkami mohou snadno vyrůst planetesimály v pásmu za sněžnou čarou Sluneční soustavy.

Y. Hasegawa aj. konstatovali, že **chondrule** (několikamiliometrové kuličky vzniklé rychlým ochlazením roztavených složek nejstarších meteoritů – *chondritů*) představují původní složky sluneční pramhlhoviny, takže objasnění jejich vzniku je klíčem k odpovědi na otázku, jak vznikaly terestrické planety a kamenná jádra plynných obřích planet. Autoři dokázali, že *chondrule* se tvoří při srážkách planetesimál vedoucích k akreci, jestliže rychlosť srážek překročí 2,5 km/s. Tehdy se materiál budoucích chondrů roztaví a vymrští v podobě kapalných výtrysků, jež v kosmickém prostoru rychle zkondenzuje. Tato základní představa však nezohledňuje další faktory, které mohou vznik chondrů ovlivnit, takže výzkum bude pokračovat.

R. Visser a C. Ormel studovali nově objevený mechanismus **budování kamenných jader planet** Sluneční soustavy z centimetrových oblázků. Sestavili pohybové rovnice pro **oblázky**, jež uvažují jak gravitační vazby, tak tah plynu, vedoucí k akreci oblázků. Simulovali tak růst hmoty splývajících oblázků v 3D prostoru pro vzdálenost 1, 3 a 10 au od hvězdy. Uvažovali navíc, zda je materiál oblázků lepkavý nebo nelepkavý, a také dva režimy proudění: nelepkavý stabilní a Stokesův lepkavý. Simulace ukázaly, že pouze částice, jejichž doběh je kratší než 1 tis. sekundy, podléhají aerodynamickému ohybu, takže jejich gravitační vazby přispívají k zachycení částic na stávajících oblázcích. Nejdéle trvá akreční růst na **planetesimály** o poloměru 100 km, ale tento čas se zkráti, je-li protoplanetární disk chladný. Jakmile interakce mezi oblázky přejde z pouhého geometrického do Safronova fokusačního režimu, začíná akrece i pro částice s doběhem >1 tis. sekundy. Tak například dochází k akreci na planetesimály ve vzdálenosti 1 au od hvězdy už pro oblázky o počátečním průměru 0,3 mm. Zato ve vzdálenostech ~ 10 au trvá proměna prachu a plynu na planetesimály ve všech případech přes 10 mil. let.

S. Kenyon aj. zkoumali okolnosti **vzniku terestrických planet** v kontextu se současnými objevy kamenných exoplanet. Z této statistiky vychází, že minimálně 20% zralých hvězd slunečního typu má kamenné planety podobné terestrickým. To je v příkém rozporu se skutečností, že v prvních 10 mil. letech existence hvězd podobných Slunci, kdy měly tyto planety vznikat, se kolem těchto hvězd pozoruje horký prach sotva ve 3 % případů. Za tento rozpor možná mohou dosud významné výběrové efekty ve statistice exoplanet, anebo daleko snazší a rychlejší vznik kamenných terestrických planet. Autoři nako-

nec usoudili, že horký prach se nejspíš odstraní brzděním ve zbytku plynného akrečního disku kolem mladé hvězdy.

D. Tamayo aj. využili **strojového učení** k náhradě obvyklých simulací, kdy se simuluje budování planetární soustavy pomocí časově náročného problému gravitační interakce N těles, kde $N > 10^6$. Vypracovali algoritmus trénovaný na testovací množině, jenž pak propočetl řádově 10 milionů orbitálních drah v *čase o tři řády kratším než pro standardní výpočet gravitačních interakcí mnoha těles*. Dává to velké možnosti pro budoucí ještě rozsáhlější výpočty nejenom při řešení otázky stability Sluneční soustavy, ale též pro planetární soustavy, jež budou objeveny pomocí družice TESS (*Transiting Exoplanet Survey Satellite*).

N. Kaib a J. Chambers v obsáhlé studii simulující **raný věk Sluneční soustavy** ukázali, že její dnešní poklidný vzhled se podstatně liší od nejranější fáze, v níž se jako první utvořily *obří ledové planety*. Skoro určitě jich bylo více než dnes, takže *minimálně jedna z nich byla přebytečná* a dráhové poruchy a těsná sblížení ji vymrštily na únikovou dráhu. Klíčovou roli v moderném uspořádání hrály planety *Jupiter* a *Saturn*, které vlivem gravitačních poruch procházely rezonancí poměru oběžných period 2:1, což m. j. *odstranilo s pravděpodobností 85 % ze soustavy aspoň jednu terestrickou planetu*. Pravděpodobnost přežití současných čtyř terestrických planet je dokonce velmi nízká – pouhých 5%! Autoři proto koketují s myšlenkou, že zmíněný dráhový chaos v soustavě ledových obrů se odehrál ještě před vznikem terestrických planet. *Pokud totiž terestrické planety vznikly během dráhového chaosu, tak pravděpodobnost, že bude jejich dnešní soustava stabilní, klesá na 1 %!* Další problém souvisí s prokázanou **epochou těžkého bombardování**, jak to vidíme na stáří velkých impaktních kráterů na Měsíci v době před 3,9 mld. roků. Tento nesporný fakt se vysvětluje tím, že podle tzv. *Nicejského modelu* byl zmíněny dráhový chaos obřích ledových planet odsunut až do tohoto období. Model, na němž se významně podílejí čeští astronomové D. Nesvorný a D. Vokrouhlický, totiž dobrě vysvětluje strukturu dnešního *Edgeworthova-Kuiperova pásu*, existenci *Trójánu* Jupiteru i početných nepravidelných měsíců u obřích planet. Naproti tomu častá a nebezpečná rezonance 2:1 oběžných period *Jupiteru* a *Saturnu* by podle simulací měla vyvolat mnohem větší deficit současného momentu hybnosti terestrických planet, než pozorujeme. Autoři dosípavají k závěru, že *stabilita drah i samotné přežití dnešních terestrických planet v této gravitační divočině byly chatrné*. Tyto rozporu vedou autory k domněnce, že epocha těžkého bombardování měla nějakou dosud neznámou příčinu, protože samotná existence Země a dalších terestrických planet na stabilních a téměř kruhových drahách znamená, že v dávné minulosti Sluneční soustavy se stále příliš nevyzýnáme.

Také P. Brasil aj. dospěli na základě faktu, že žádné rodiny planetek vzniklé z mateřského tělesa kaskádou srážek nejsou starší než 4,0 mld. let, k závěru, že v *první půlmiliardě let existence Sluneční soustavy existovalo celkem pět obřích ledových plynných planet*. Tato domněnka z r. 2009 se nazývá „**skákající Jupiter**“. *Jupiter* totiž možná ve spolupráci se *Saturnem* zavinil, že přebytečná planeta o hmotnosti podobné *Neptunu* se vinou gravitačních poruch dostala do části hlavního pásu planetek. Tam způsobila dráhový chaos vedoucí ke srážkám velkých planetek a ke vzniku osmi nejstarších rodin planetek, načež na to sama doplatila dalšími poruchami od *Jupiteru* a *Saturnu*. Nakonec byla vymrštěna ze Sluneční soustavy rychlostí vyšší než únikovou.

Díky sondě **Cassini/Huygens** byly získány zejména v posledním období její činnosti u *Saturnu* významné poznatky o struktuře početných prstenců, jež z planety učinila záhadnou ozdobu planetární soustavy. Podle P. Nicholsoна a L. Esposita mají částice v hlavním prstenu A tuhá ledová jádra obalená vnějšími načezechrannými vrstvičkami. V prstencích A i B se přitom jen vzácně vyskytují částečky s rozdíly $\leq 10\text{ mm}$, s výjimkou vnějšího okraje prstence A. V prstencích G a E se naopak vyskytuje spousta prachových částic s mikronovými rozdíly. Podstatně se zlepšily údaje o hustotě a ohybu vln v prstencích a nečekaných anomáliích tvaru prstenců. Ve vnitřní části prstenu C se vyskytuje *svislá trhlina* vyvolaná rezonancí s oběžnou dobou *Titanu*. Silné hustotní vlny jsou také porušovány vinou dráhových rezonancí s měsíci *Janus* a *Epimetheus*. Hustota prstenu B je v některých vlnových oblastech podstatně nižší, než se dosud uvádělo. V *Cassiniho dělení* se nalézá *Huygensův prstýnek*, který však zakrývá až kilometrový objekt uvnitř. Něco podobného se nejspíš schovává i ve vnějších partiích hlavních prstenů A a B. V difuzním prstenu D se objevila podivná *výstředná spirála* pravděpodobně vyvolaná impaktem většího tělesa

koncem r. 2011. Je zřejmé, že soustava prstenců se trvale vyvíjí, což se poprvé podařilo sledovat zásluhou třínačítleté činnosti sondy.

E. Zirnstein aj., L. Burlaga aj. a L. Burlaga a N. Ness v sérii prací interpretovali výsledky pozorování družice **IBEX** (*Interstellar Boundary Explorer*) a kosmických sond *Voyager 1* a *2* a v letech 2012–2016. Zatímco sonda *IBEX* obíhá kolem Země po velmi výstředné eliptické dráze s apogeem ve vzdálenosti 305 tis. km, *Voyager 1* už překročil v srpnu 2016 vnější hranici magnetického heliopouzdra, kdežto *Voyager 2* se k této hranici teprve blížil. Přestože byla sonda *IBEX* tak blízko ke Slunci, mohla díky registraci energetických neutrálních atomů studovat geometrii a další charakteristiky vnitřní části **heliopouzdra**, jež je definována prudkým poklesem nadzvukové rychlosti slunečního větru na rychlosť podzvukovou. Zmíněné neutrální atomy totiž vznikají výměnou elektrického náboje mezi částicemi slunečního větru a elektricky nabitémi částicemi interstelárního prostředí, odkud směřují ke Slunci. Během pěti let měření v pásmu slunečního chvostu na straně Země odvrácené od Slunce se tak podařilo objevit atomy přicházející z pásmu pod *rázovou vlnou heliopouzdra*. Tak se ukázalo, že tvar *heliopouzdra* připomíná roztřepenou *magnetickou bublinu*, jejíž hranice neustále kolísají, jak se v různých směrech přetlačuje sluneční vítr a nabité částice interstelárního pozadí. *Voyager 2* zaznamenal v heliopouzdu důsledky rostoucí sluneční činnosti už po slunečním minimu na počátku r. 2008. Tehdy se projevily první známky nastupujícího 24. cyklu. Během prvních 249 dnů r. 2012 narostla indukce slunečního magnetického z 0,14 nT na 0,29 nT. Sonda pozorovala zkroucené heliosférické proudové vrstvy ve tvaru *Parkerovy spirály* po 88% pozorovacího času, a dále 8 izolovaných hraničních protovových vrstev, avšak celkový *magnetický tok* ze *Slunce* byl po celý rok 2012 stálý. *Voyager 1* pozoroval od konce srpna 2012 ve vzdálenosti 121 au od Slunce průniky zakrytého **interstelárního magnetického pole** na vnější hranici heliopouzdra. Od té doby až do r. 2016 byla indukce magnetického pole v heliopouzdu 0,48 nT pozoruhodně stálá s chybou $\pm 0,2\%$. Krátkodobé poruchy byly vyvolány účinky proměnného slunečního větru, který se prodral až za *vnější hranici heliopouzdra*.

Zatím nesmírně vzdálenou **budoucností Sluneční soustavy** se zabývali J. Guo aj. Je jisté, že ke konci svého termonukleárního vývoje, tj. zhruba za 6,5 mld. let, se *Slunce změní v červeného obra*, ale při svém pohybu po asymptotické větví *Hertzsprungova-Russellova diagramu* ztratí významnou část své hmotnosti, což povede ke vzdálování terestrických planet od Slunce. Jenže tento efekt bude menší než slapové síly, které nakonec přinutí terestrické planety ke zmenšování poloměru jejich drah. *Zcela určitě bude Sluncem nejprve zalist Merkur a po něm i Venuše. Mars téměř určitě rozpínání Slunce přežije a osud Země je na hraně.* Jenže podle klíčové studie I. Sackmannové aj. z r. 1993 je jisté, že už za 1,1 mld. let bude život na Zemi ohrožen růstem zářivého výkonu Slunce o 10% oproti současnosti. Proto našim vzdáleným potomkům už za miliardu let nezbude nic jiného, než sbalit kufry a odstěhovat se na *Mars*, kam se však vejdu maximálně 2 miliardy uprchlíků!

1.4. Slunce

J. Vaguero aj. zveřejnili výsledky dlouhodobých měření poloměru slunečního disku, jenž probíhal na *Královské observatoři španělského námořnictva* téměř nepřetržitě od r. 1773 do r. 2006. Za tu dobu se **poloměr Slunce** (po korekcí na proměnnou vzdálenost Země od Slunce) v mezech chyb nezměnil a činí $(958,9 \pm 1,8)\text{ km}$.

M. Meftah aj. využili umělé družice *Picard*, která odstartovala v červnu 2010 a během 24. cyklu sluneční činnosti pracovala až do března 2014. Sensor SNS (*Sun Ecartometry Sensor*) snímkoval Slunce v červeném filtru $(782 \pm 2,5\text{ nm})$. Během celého období *kolísalo sluneční ozáření v tomto pásmu v rozsahu pouhých $\pm 0,8\%$* , takže je patrné, že sluneční zdroj zářivé energie je až neuvěřitelně stálozářný. Také S. Dewitte a S. Nevens určovali hodnotu **TSI** (*Total Solar Irradiance*) pomocí různých kosmických aparatur od r. 1979 až do léta 2016, takže pokryli zcela 22. i 23. cyklus, a k tomu značnou část 24. cyklu sluneční činnosti. **Střední hodnota TSI** ve vzdálenosti 1 au od Slunce činila 1 362,9 W/m². Po celou dobu nepřesáhl odchylky od střední hodnoty $\pm 1\text{ W/m}^2$, tj. $\pm 0,7\%$. M. Dasi-Espug aj. rekonstruovali průběh TSI pomocí nepřímých ukazatelů jako jsou magnetický tok v aktivních oblastech, výskyt slunečních skvrn a fakulových polí od r. 1700 do r. 2009. Odtud plyne, že za tu dobu stoupala TSI o 1,2 W/m².

P. Kotrč aj. uvedli, že dosud nebylo rádně potvrzeno, že *tok energie v Balmerově spojitém spektru slunečních erupcí v průběhu úkazu ros-*

te. Autorům se to zdařilo selektorem obrazu umístěným za ohniškem horizontálního slunečního spektrografova *HSFA-2*. Při pozorování průběhu erupce třídy X ze dne 11. 6. 2014 klidová hodnota spektra stoupla $2,3 \pm 5,5x$.

T. Okamoto aj. a P. Antolin aj. zjistili díky snímkům slunečních družic *TRACE* (od r. 1998), *Hinode* (2007) a *SDO* (2012), že početné příčné magnetohydrodynamické **Alfvénovy vlny** vznikající ve sluneční chromosféře o tloušťce pouhých 5 tis. km, teplotě 25 kK a hustotě o 8 řádů nižší, než je hustota zemské atmosféry na úrovni mořské hladiny, uvolňují díky magnetickým polím dostatečné množství zářivé energie pro **ohřev koróny**. Donedávna však nebylo jasné, jak se tato energie může přenést do sluneční koróny o teplotách milionů kelvinů. Družicové snímky s vysokým rozlišením nyní ukázaly, že v protuberancích se nachází **vlákna přehřátého plazmatu**, která kmitají příčně jako struny na kytaře, ale i podélne. Pokud mají příčné i podélné vlny shodnou rychlosť, vznikají rázy, víry a velkorozměrová turbulence. Tření a elektrické proudy pak přenesou tuto energii do velmi řídké sluneční koróny, kterou ohřívají na zmíněnou teplotu.

M. Druckmüller zpracoval pomocí svého pokročilého grafického algoritmu *PM-NAFE dynamický průběh slunečních erupcí a filamentů* pozorovaných v letech 2012–2016 družicí *Solar Dynamics Observatory* (NASA) v EUV pásmech 21, 17 a 30 nm. Časově zhuštěné videozáznamy (formát .avi) v nepravých barvách využívají naplno mořadné kvality kamery AIA na družici (<http://www.zam.fme.vutbr.cz/~druck/Sdo/Pm-nafe/0-info.htm>). Jednotlivé soubory mají velikost 200 ± 400 MB, takže stahování chvíli trvá, ale výsledný dojem stojí za to.

Y. Chi aj. prozkoumali na základě pozorovacího materiálu o **interplanetárních výronech koronální látky** (*ICME = Interplanetary Coronal Mass Ejections*) a jejich vazby na různé projevy sluneční činnosti. Frekvence výronů a rázových vln jeví korelace s relativním číslem, ale výskyt magnetických oblaků ve výronech s relativním číslem nesouvisí. Tato oblaka se vyskytují nejčastěji v okolí minima sluneční činnosti. Rychlosť výronů, indukce magnetického pole a jejich další parametry rostou úměrně se sluneční činností, takže v maximu bývají rekordní. Asi polovina výronů vykazuje **rázové vlny** šířící se od Slunce. Tyto výrony též vykazují nejvyšší rychlosť šíření a mívají rekordně vysokou magnetickou indukci.

F. Clette aj. se věnovali zapeklité otázce, který z rozličných parametrů nejlépe vystihuje **kolísání sluneční činnosti**. Historicky nejdéle používaným parametrem je **Wolfovo číslo** (práce z r. 1851 a 1856), které zohledňuje jak výskyt skupin sluneční činnosti, tak celkový počet skvrn, přičemž počet skupin má o řád vyšší váhu. Trpělivé bádání v archivech umožnilo zpětně určit **Wolfovo číslo pro sluneční cykly od r. 1750**. Jde tedy o nejdéle poměrně homogenní časovou řadu indikující periodické změny v celé astrofyzice. Tato řada slouží zejména jako indikátor chování slunečního dynamika a poskytuje oporu i pro historii sluneční činnosti na časové stupnici tisíců let (sledované nejdříve pomocí výskytu radionuklidů s vhodnými poločasy rozpadu ve stromech a ledových vrstvách v Grónsku nebo Antarktidě). Nejmenší význam má sledování sluneční činnosti také pro předpovědi kosmického počasí, tj. kolísání odporu atmosféry při pohybu umělých družic Země, dálkového bezdrátového rádiového spojení a vlivu indukovaných elektrických proudů na silové transformátory, elektrické sítě a ropovody či plynovody.

Nazvzdory popularitě Wolfova čísla byla jeho vhodnost zpochybňena v r. 1998 D. Hoytem a K. Schattenem, kteří jako **přesnější indikátor sluneční činnosti** navrhli zavést pouze počty skupin slunečních skvrn. Rekonstruovali tak denní, měsíční a roční indikátory činnosti v letech 1610–1995 na základě více než 111 tis. pozorovacích dnů, zatímco Wolfova čísla jsou založena jen na datech pro 66 tis dnů. Autorům se totiž zdařilo nalézt v archivech velké množství pozorování z doby před rokem 1874. Z této statistiky vyplynulo, že *Wolfovo maximum v r. 1805 ve skutečnosti nastalo už v r. 1801*, takže **zádný sledovaný sluneční cyklus nebyl delší než 15 let**. Zároveň klesl statistický šum vylovením malých osamělých skvrn. Autoři tak upozornili na schisma, které od té doby provází sluneční výzkum, protože souběžně existují dva metodicky odlišné indikátory sluneční činnosti, a nikdo po řadu let nezkoumal, který je lepší. Výhodou skupinového indikátoru je prodloužená časová řada, jež zahrnuje i poslední dlouhé sluneční minimum (1645–1715) objevené v letech 1890–1894 manžely Annie R. a Edwardem W. Maunderovými, které časově koincidovalo s „**malou ledovou dobou**“ na severní polokouli. R. a D. Neuhäuserovi však upo-

zornili na řadu chyb a opomenutí Hoyta a Schattena při interpretaci sledování slunečních skvrn S. Mariusem od června 1617 do konce r. 1618, jakož i vynechání Mariusových pozorování skvrn z let 1611 a 1612, která jsou shodná se zákresy Galilea a Jungiuse z týchž dní. Autoři proto navrhují, aby se kriticky prozkoumala všechna pozorování z 17. stol. zejména s ohledem na zmíněné *minimum Maunderových*.

Vyřešení dilematu Wolfovo číslo vs. skupiny skvrn iniciovali F. Clette, E. Cliver a L. Svalgaard v r. 2011. V široké spolupráci a po mnoha pracovních poradách dospěli k nové kalibraci zmíněných indikátorů ve dvojčísle časopisu *Solar Physics* z listopadu 2016, jež obsahuje 36 prací věnovaných této klíčové záležitosti. Zvláštní pozornost věnovali početné skupiny autorů dalším indikátorům sluneční činnosti, jako jsou celková plocha skvrn, celkové ozáření od Slunce (*TSI*), intenzita čáry K (Ca II), sluneční zářivý tok v pásmu *EUV*, výskyt rentgenových erupcí (X), počty koronálních ejekcí látky (CME), variace kosmogenetických nuklidů v pozemských vzorcích a kolísání trvání jednotlivých cyklů sluneční činnosti. V závěrečné studii J. Vaqueraoa aj. jsou publikována rekalibrovaná data o počtu skupin slunečních skvrn od r. 1610 až do současnosti, která tvoří nový, přesnější a méně „zašuměný“ základ pro objektivní charakteristiku sluneční činnosti. P. X. Gao aj. sledovali pomocí ročních průměrů celkového počtu slunečních skvrn **dłouhodobé trendy kolísání sluneční činnosti** v období 1700–2015. Vyšlo jim, že v období 1700–1975 sluneční činnost zvolna rostla, ale od té doby až do 24. cyklu opět klesá, takže se údajně blížíme do stolého *Gleissbergova minima*, jež bude o něco hlubší než *Daltonovo*, ale výrazně hlubší než zmínované *minimum Maunderových*.

Následující listopadové číslo časopisu *Solar Physics* bylo věnováno dalšímu otevřenému problému sluneční fyziky, tj. stále nejasnému mechanismu **ohřevu koróny** poměrně chladné chromosférou Slunce. Základní poznatky shrnuli V. Nakariakov aj., když za důležitou příčinu vysoké teploty koróny označili magnetické vlny a oscilace v koróně, jež poskytují diagnostické údaje o horkém plazmatu i příčinu slunečního větru. Vlny a oscilace lze totiž sledovat v širokém rozsahu frekvencí od rádiových vln až po velkorozměrovou magnetohydrodynamiku. Tak se ukázalo, že právě tyto vlny propojují různé vrstvy sluneční atmosféry. Sluneční erupce se vyznačují kvaziperiodickými pulsacemi, jež usnadňují přenos tepelné energie do koróny. Dokonce se podařilo nalézt analogie mezi vlnovými interakcemi ve sluneční koróně nebo ve slunečním větru a zemskou magnetosférou. Když se ve sluneční chromosféře vytvoří rekonexí magnetického pole erupce, tak do nulového bodu erupce proniká pomalá magnetoakustická vlna, jež se následkem toho urychlí a vyvolá v plazmatu **kvaziperiodické oscilace** přímo předurčené k intenzivnímu přenosu energie do koróny. Přitom vzniká rázová vlna, která zatlačí chromosféru ve směru k centru Slunce.

Jak uvedli P. Charbonneau aj., časopis *Solar Physics* vznikl počátkem roku 1957 a má ze sebou již půlstoletí úspěšné existence. Vznikl z iniciativy holandského astrofyzička *Cornelise de Jagera* a českého astronoma *Zdeňka Švestky*, kteří sestavili velmi kvalitní mezinárodní redakční radu, čímž zajistili renomé časopisu. Během půlstoletí v něm vyšlo přes 10,1 tis. recenzovaných prací, jež zabraly témař 134 tis. tiskových stran. Zatímco v I. ročníku měl časopis tisíc tiskových stran, v ročníku 2016 se rozsah zvětšil na témař čtyřnásobek. Za tímto rozvojem stojí především *kosmický výzkum*, který umožnil pozorovat Slunce včetně koróny, slunečního větru, koronálních výronů hmoty a celkového slunečního ozáření z observatoří za hranicemi zemské atmosféry. Na zemi pak tyto nové možnosti doplnila *helioseismologie*, jež poskytuje cenné údaje o slunečním nitru. Snad nejvýznamnějším výsledkem tohoto období byl objev **deficitu slunečních neutrín**, který se po dlouhém tápání podařilo objasnit pomocí *rovnoramenných oscilací leptonové vlny neutrín* mezi elektronovou, mionovou a tauonovou.

N. Wright a J. Drake zpochybnilí současnou teorii **slunečního dynama**, která předpovídá, co se děje na povrchu hvězd slunečního typu, kde pozorujeme díky dynamu skvrny, erupce a záření chromosféry i koróny v rentgenovém a UV pásmu vlnových délek. Tyto hvězdy mají jádro se zářivým přenosem energie z centra k povrchu, jež obklopuje konvektivní slupku, v níž se energie přenáší k povrchu konvekcí plynu. Rozhraní mezi slupkou a jádrem se nazývá *tachoklina*, protože tam dochází ke střihu *vnitřního magnetického pole* vinou diferenciální rotace. Naproti tomu plně konvektivní hvězdy tachoklinu nemají. Proto se předpokládalo, že tam bude hvězdné dynamo vypadat dočista jinak. Autoři však našli příklady několika zcela konvektivních niter hvězd s povrchovými parametry naprostě shodnými se slunečním

dynamem; na výskytu *tachokliny* se tedy vlastnosti magnetického dynama nepodílejí.

C. de Jager aj. upozornili na nedávnou **změnu vlastností slunečního dynama**, které se odehrála během patnáctiletého období na přelomu našeho tisíciletí. Zřejmě šlo o *Přechod z období Velkého maxima sluneční činnosti*, jež vyvrcholilo v letech 1957–1958, kdy se štěstnou shodou okolností uskutečnil *Mezinárodní geofyzikální rok*, do něhož se zapojily také všechny tehdejší sluneční observatoře. Maximum pak doznávalo i v dalších dekádách XX. století. Podle názoru autorů počátek *Přechodu* nastal v r. 1995. Vrchol *Přechodu* se pak odehrál v letech 2005–2010, kdy byla sluneční činnost pozoruhodně nízká. Příčinou poklesu mohly být *pulsace sluneční tachokliny*. Její rovníková část se ponořila hlouběji a pulsovala s poloviční amplitudou ± 20 tis. km.

Jak upozornila I. Kitiashviliová, většina **předpovědí intenzity a trvání slunečních cyklů** se opírá o analýzu předešlých cyklů, což však není příliš vhodné, protože model hvězdného dynama má vážné nedostatky a pozorování nám neumožňují spolehlivě určit současnou ani minulou strukturu magnetického pole Slunce. Ještě obtížnějším oříškem je odhadnout jeho dynamiku. Proto zvolila metodiku založenou na *Kálmánově filtrování* pro modelování magnetického pole. Od tut předpověděla budoucího vývoje sluneční aktivity pomocí nelineární teorie nízkého řádu pro sluneční dynamo. Touto metodou odhadla v r. 2008 budoucí průběh 24. cyklu, a zatím jí to vychází. Proto se v r. 2016 odvážila předpovědět, že minimum 24. cyklu proběhne na rozhraní let 2019–2020 a maximum 25. cyklu bude v letech 2023–2024 s vyhlašeným maximálním relativním číslem 90. Konec 25. cyklu nastane v intervalu let 2028–2030. Ještě předtím M. Ogurtsov zasadil dosavadní průběh 24. cyklu do širšího kontextu **sluneční paleoastrofyziky**, která v současné době pokrývá období od r. 8555 př. n. l. do r. 1605. Odtud odvodil, že relativní číslo R v maximu 24. cyklu dosáhne hodnoty 85 ± 30 . To odpovídá skutečnosti, protože vyhlašené maximální R dosáhlo hodnoty 82 v dubnu 2014.

M. Švanda a M. Karlický porovnávali četnost a mohutnost výskytu **hvězdných erupcí** na hvězdách hlavní posloupnosti tříd K až A. Tak se ukázalo, že erupce na hvězdách třídy A mají 4x nižší hustotu energetického toku ve směru do vnějších vrstev atmosféry hvězd, než je tomu u hvězd třídy G. Vyslovili domněnkou, že proto pozorujeme deficit horkých korón u hvězd A, zatímco u hvězd G se koróny ohřívají **nanoerupcemi** v chromosférách.

Redakce týdeníku *Nature* připomněla vrcholnou úlohu, kterou od r. 2010 plní na geostacionární dráze americká sluneční družice **Solar Dynamics Observatory** (SDO), jež s vysokou kadencí 12 s snímá Slunce v 9 pásmech EUV a UV (9,4+170 nm) jakož i v bílém světle. Dalším přístrojem na palubě je helioseismický a magnetický zobrazovač (HMI). Aparatury SDO produkuje denně 1,5 TB dat a jsou veřejně přístupná. Každý třetí snímek je redukován na velikost 1 MB, takže odtud je možné rychle zjistit, co se právě na Slunci děje. Dosavadní archiv obsahuje v r. 2016 už několik PB údajů. Právě tohoto archivu využívá M. Druckmüller k zobrazování **vývoje slunečních erupcí a protuberancí** s rekordně vysokým úhlovým i časovým rozlišením.

V. Nakariakov a j. shrnuli hlavní výsledky družice SDO, která objevila **příčné dlouhoperiodické (půlhodinové) oscilace** v koronálních smyčkách a filamentech. Ze sluneční seismologie v projektu **GONG (Global Oscillation Network Group)** a z dat družice SDO se prokázalo, že indukce magnetického pole v koronálních filamentech přesahuje 2,5 mT. Pomocí ruského radioteleskopu *RATAN-600* se navíc zjistilo, že trubice magnetického toku se v aktivních oblastech mírně rozevírají a rádiové zdroje jeví spirální magnetické struktury. Na dně chromosféry jsou siločáry magnetického pole svislé, takže nemají vliv na zmíněné oscilace. S rostoucí výškou se však siločáry začínají nakládat, což dovoluje nízkofrekvenčním vlnám stoupat vzhůru až do koróny. Systém *GONG* umožnil během roku pozorovat po dobu 5 dnů v chromosférickém filamentu v čáře H- α oscilace s periodou 20÷30 h, přičemž různé segmenty filamentu oscilovaly s různými periodami. V samotných slunečních erupcích byly pozorovány **kvaziperiodické oscilace** s periodami 40÷50 s v pásmech rentgenovém, mikrovlnném a rádiovém. Asi v třetině případů erupcí se tyto oscilace s periodami 5÷9 s pozorovaly také v pásmech tvrdého rentgenového a gama záření. U ukotvených chromosférických erupcí se vyskytuje *Rayleighova-Taylorova nestabilita* (hranice mezi hustším a řidším plazmatem nebo plynem) elektrických proudů, jež vzlínají do magnetických smyček a odnášejí dostatečné množství urychlovaných elektronů do koróny. **Elektrická pole** tak přispívají k urychlování ele-

tronů i protonů. Tím se podstatně zvyšuje celková dodávka energie a koróna se ohřívá až na teploty >5 MK.

P. Gaulme aj. zkoumali asteroseismické **oscilace Slunce** pomocí družice *Kepler* v režimu K2 po dobu 49 dnů s rychlou kadencí 1 minuta. Po celou tu dobu však nepozorovali Slunce, ale jasnost planety *Neptun*, která posloužila jako zrcadlo pro zmíněná měření. V porovnání s jinými měřeními však měla tato měření o řád vyšší šum a dala pro Slunce hmotnost o 14 % a poloměr o 4 % vyšší, než jsou současné nejlepší hodnoty. Přesto jde o důležitý výsledek, protože se autorům podařilo pomocí Slunce kalibrovat *asteroseismická měření vzdálených hvězd*.

J. Y. Zhong aj. napodobili podmínky magnetického přepojování siločar (*rekonexii*), které je patrně příčinou **erupcí na Slunci**, v pozemní laboratoři. Použili k tomu výkonných laserů a docílili tak efektivní teploty až 1 GK díky urychlení elektronů na relativistické rychlosti. Pozorované energetické spektrum v pásmu energií ≥ 500 keV se velmi podobalo slunečním erupcím X, při nichž se pozoruje tvrdé rentgenové záření i záření gama. Samotné ztvrdnutí energetického spektra však musí mít ještě další příčinu v podobě rázových vln a turbulence, které vygenerují vysoce energetické elektrony.

N. Raouafi aj. shrnuli poznatky o **usměrněných slunečních koronálních výtryscích**, které navzdory svému krátkému trvání představují významný zdroj přenosu hmoty a energie do vnější koróny. Přestože energie přenášená výtrysky je nižší než energie uvolněná v erupcích a koronálních výtryscích látky (CME), má s těmito úkazy mnoho společného, především výbušnou magneticky řízenou dynamiku. Usměrněné výtrysky propojují také velké komplexní projekty sluneční činnosti s těmi nejdobřejšími pozorovatelnými krátkodobými jevy, jako jsou sluneční *spikule*. Podle názoru autorů jsou právě kolimované koronální výtrysky klíčem k pochopení fyzikálních příčin ohřevu koróny a urychlování slunečního větru, takže je potřebné věnovat náležitou pozornost.

K. J. Li aj. využili údajů z různých družic a kosmických sond v půlstoletém období od konce listopadu 1963 do konce prosince 2013 ke statistice rozložení **rychlosti slunečního větru** vůči Slunci. Rychlosť slunečního větru lze rozložit do tří skupin: pomalý vítr do 450 km/s, rychlý do 725 km/s a extrémně rychlý nad 725 km/s. Vítr v prvních dvou skupinách jeví kolísání v periodě shodné se sluneční rotací periodou. **Extrémně rychlý vítr se objevuje až na sestupné větvě slunečního cyklu**. Průměrná rychlosť slunečního větru dosahuje jen 373 km/s.

S. Patsakouras aj. věnovali pozornost **přívalu úkazů kosmického počasí** ve dnech 7–11. 3. 2012, kdy se mj. rozvinula druhá největší geomagnetická bouře 24. cyklu sluneční činnosti. Projevila se zesílením ultrapomalých magnetických vln, ubývkem relativistických elektronů ve *Van Allenových radiačních pásech* a vstřikováním energetických elektronů do magnetosféry Země. Celá epizoda vyvrcholila dvěma superrychlými (>2 000 km/s) koronálními výrony látky (CME), jímž v ranních hodinách 7. 3. 2012 předcházely dvě erupce třídy X, které vznikly v téže aktivní oblasti (NOAA 11429) necelou hodinu po sobě. Pouze druhý výron však zasáhl Zemi. Autoři odhadli, že ve vzdálosti $13 R_\odot$ od Slunce činila indukce magnetického pole v CME $1\text{--}16 \mu\text{T}$. Načež P. Riley aj. pozorovali 23. 7. 2012 pomocí sondy *STEREO A* supersonickou (3,3 tis. km/s neboli 28 machů) rázovou vlnu, která prošla výronem asi 20 h po jeho vymrštění z koróny. Jak uvedli N. Gopalswamy aj., výron CME dorazil k Zemi za pouhých 18,5 h, což svědčí o tom, že energetické částice nesly energie řádu GeV, přičemž rázová vlna se utvořila ve vzdálenosti $1,5 R_\odot$ s počátečním zrychlením 1,7 km/s². To jsou vesměs dosud nevídána vysoká hodnoty.

S. Wedemayer aj. zdůraznili, že pro budoucí výzkum sluneční chromosféry má mimořádný význam pozorování Slunce mikrovlnnou aparaturou **ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array)**, protože otevřela nové okno elektromagnetického spektra s rekordní časovou i úhlovou rozlišovací schopností. Vyžaduje to však mnoho programovací práce i simulací, aby se podařilo jedinečnému potenciálu observatoře v nadmořské výšce 5 km využít. Na tomto projektu se významně podílejí také čeští astronomové.

L. Kitchatinov aj. se věnovali ošemetnému problému, že cizí hvězdy slunečního typu se vyznačují relativně častými **supererupcemi**, takže když se něco takového přihodilo Slunci, bude mít „Houston“ problém. **Magnetické dynamo** v nitru Slunce totiž podléhá livilům diferenciální rotace, proto neustále osciluje. Kdyby se však stalo, že sluneční dynamo přejde na stabilní režim, zesílí se indukce magne-

tického pole na povrchu Slunce o více než dva rády, což by vedlo k supererupci. Počítacové simulace autorů však ukázaly, že supererupce na Slunci nehrózí.

Několik týmů se zabývá hledáním slunečních analogů nebo dvojníků. D. Mahdi aj. našli v archivu ešetového spektrografovi *ELODIE* (1,9m teleskop OHP v jižní Francii), jenž obsahuje 2 800 hvězdných spekter s vysokým rozlišením, analog Slunce v podobě hvězdy HD 138573 (=HIP 0761114) v souhvězdí Hada (7,2 mag; sp. G5 IV-V; vzdálenost 30 pc; +4,8 MAG; 5,76 kK). J. Galarza aj. označili za dvojnáka Slunce hvězdu HIP 100963 (*Vul*; 7,1 mag; G5 V; 28 pc), kterou proměňovali spektrografem *HRES* Keckova 10m reflektoru na Mauna Kea. Dostali tak parametry: 5,82 kK; 1,03 M_o; metalicitu [Fe/H] = -0,003; stáří 2,0±2,4 Gr. Týž tým našel ještě jasnejšího dvojnáka HD 45184 (CMa; 6,4 mag; G1.5 V; 5,86 kK; 1,05 M_o; 22 pc; [Fe/H] = 0,04; stáří 3 Gr) a slabšího dvojnáka *Inti 1* (5,84 kK; [Fe/H] = 0,07; 1,04 M_o; stáří 4 Gr). M. Flores aj. ohlásili, že dvojnák HD 45184 má cyklus aktivity 5,1 let a rotuje v periodě 20 d. P. Beck aj. objevili sluneční analog v podobě hvězdy KIC 3241581, která je primární složkou těsné dvojhvězdy. Má efektivní teplotu 5,69 kK, ale vyšší zastoupení těžších prvků než Slunce. Rotuje v periodě 26 d, což je nejbližší rotační periodě Slunce. D. Salabert aj. zkoumali magnetickou proměnnost mladého (1 Gr) slunečního analogu KIC 10644253 (=BD+47 2683; 9,3 mag; G0 V; 6,03 kK; 1,13 M_o; 1,11 R_o; [Fe/H] = 0,12; rotace 11 d; vzdálenost 100 pc; stáří 1,1 Gr), jenž je ovšem mnohem aktivnější než usedlé Slunce. Jeho cyklus aktivity je navíc podstatně kratší (1,5 r). D. Graczyk aj. našli dalšího dvojnáka v sekundární složce zákrytové dvojhvězdy LL Aqr (9,3 mag). Tato dvojhvězda nejvíce žádnou fyzikální interakci vyjma gravitace. Sekundární složka je spektrální třídy G3 V; hmotnost 1,03 M_o; poloměr 1,00 R_o; [Fe/H] = 0,02; vzdálenost 125 pc; stáří 2,3 ±2,7 Gr. Všechni zmínění dvojnáci však mají zřejmě proti Slunci nějaké odchyly, především jsou mladší, ale i některé další parametry jsou významně odchylné.

M. Lund aj. využili programu K2 družice *Kepler* v období 22.4.-2.7. 2016 k hledání gravitačních mikročoček, protože tehdy byla Země vůči družici v nejpříznivější poloze pro jejich odhalování ve výduti Galaxie, kde je nejvyšší plošná hustota hvězd. Během zmíněného období se na úhlové ploše 3,7 čtv. stupňů podařilo změřit paralyxy pro >170 mikročoček. Některé takto objevené objekty jsou zřejmě planety, obíhající kolem mateřských hvězd, vzácně se v souboru vyskytly i samostatné planety - nomádi. Z paralax se pak daly spočítat vzdálenosti a hmotnosti čočkujících hvězd a jejich průvodců. Mezi nimi převažovaly hvězdy slunečního typu. Tento úspěch je vodítkem pro plánovaný kosmický teleskop *WFIRST* (Wide Field InfraRed Space Telescope).

2. Hvězdný vesmír

2.1. Exoplanety

18. ledna 2016 byla odstartována pozorovací kampaň Evropské jižní observatoře *Pale Red Dot* (bleděčervená tečka), jejímž cílem je nalezení planety obíhající kolem nejbližší hvězdy po Slunci, *Proximy Centauri*. Názvem kampaň odkazuje ke slavné fotografii Země z *Voyager 1* a snahou byla detekce planety metodou radiálních rychlostí. Hlavním přístrojem byl spektroskop HARPS (*High Accuracy Radial velocity Planet Searcher*) na 3,6m teleskopu ESO na *Cerro Paranal*, do kampaně byly zapojeny i další přístroje po celém světě. V únoru 2016 *Proxima Cen* přešla přes jasnejší hvězdu v pozadí, což pozoroval HST ve snaze zaznamenat mikročočkování, tj. slabé zesílení světla hvězdy v pozadí v důsledku zakřivení v gravitačním poli planety. Na hvězdu se dále zaměřila kanadská družice *MOST* (*Micro-variability and Oscillations of STars*).

Soustředěné úsilí bylo korunováno úspěchem. G. Anglada-Escudé aj. oznámili objev planety *Proxima b*, která má minimální hmotnost 1,3 M_z a kolem mateřské hvězdy oběhne jednou za cca 11,2 d po dráze s velkou poloosou 0,05 au. Amplituda radiální rychlosti hvězdy dosahuje pouze 1,38 m/s, což na vzdálenost 1,295 pc představuje neuvěřitelnou přesnost měření. Vzhledem k tomu, že *Proxima* je červený trpaslík spektrálního typu M5.5 s povrchovou teplotou zhruba 3 050 K, hmotností 0,12 M_o, poloměrem 0,14 R_o a svítivostí 0,15 L_o, nachází se planeta *b* v její ekosféře. Hvězda je však aktivní a v rentgenové oblasti dosahuje její zářivý výkon stejných hodnot jako Slunce.

Všechny získané parametry byly získány jen na základě měření radiálních rychlostí *Proximy*. Přechody planety přes kotouček hvězdy se nepodařilo zjistit, situaci komplikuje sama *Proxima* svou aktivitu.

J. Davenport aj. publikovali měření zmiňované družice *MOST*, která ukazuje, že hvězda během necelých 38 dnů pozorování prodělala 66 vzplanutí s energiemi v rozmezí $10^{29} \pm 10^{31}$ erg. Porovnáním s hvězdnými modely autoři odvozují, že nízkoenergetických vzplanutí s energií $\leq 10^{28}$ erg hvězda prodělá 63/den, zatímco vzplanutí s vysokou energií 10^{33} erg prodělá zhruba 8/rok. Nízkoenergetická vzplanutí komplikují hledání zákrytu, zatímco vysokoenergetická mají předpokládaný neblahý vliv na atmosféru planety.

C. Garraffová, J. J. Drake a O. Cohen vytvořili model hvězdného větru a magnetického pole v okolí *Proximy* na základě pozorovaných spektrálních čar, které odpovídají magnetické indukci přibližně 30 mT na povrchu hvězdy. Model počasí v okolí planety *b* ukazuje, že tlak hvězdného větra může být až 2000x vyšší než tlak slunečního větra na Zemi, navíc se v průběhu dne mění až o několik řádů. Vzdálenost planetární magnetopauzy od povrchu planety se proto může stejnou rychlosť měnit až 5x, což bude mít patrný vliv na odnos vrchních vrstev atmosféry planety, pokud existuje; stejně tak není jisté, zda planeta vůbec má významnější vlastní magnetické pole.

Přes všechny tyto nepříznivé okolnosti by *Proxima b* mohla být obyvatelná. I. Ribas aj. zveřejnili výsledky simulací vývoje planetární dráhy. Předpokládají, že celkové ozáření planety od hvězdy dosahuje ve srovnání se Zemí vysokých hodnot, zejména v UV a rentgenové oblasti spektra. Stejně tak předpokládají, že současná rotační osa planety je kolmá k rovině oběhu a planeta má vázanou rotaci. Ze simulací překvapivě vycházejí, že planeta se v mnoha případech dostane dovnitř ekosféry *Proximy* během 100+200 Mr a ztratí přitom množství vody srovnatelné se všemi pozemskými oceány. Pokud by původní množství vodíku a kyslíku na planetě bylo vyšší než na terestrických planetách, stále jí na místě může být dostatek; právě odhad poměru vody na protoplanetě však představuje největší nejistotu.

B. Brugger aj. publikovali model pravděpodobné vnitřní struktury a velikosti *Proximy b*. Protože neznáme její složení, autoři předpokládají, že jde o kamenou planetu s možnou příměsi vody. Pro modely s různým poměrem vody a hustých hornin vychází velikost planety v rozmezí 0,94±1,46 R_z.

L. Kreidbergová a A. Loeb modelovali potenciální detekci přítomnosti atmosféry kolem *Proximy b* v mikrovlnném pásmu 5±12 μm, což je jedna ze spektrálních oblastí, v níž bude pozorovat Webbův kosmický teleskop (*JWST*). Autoři modelovali planetu zcela bez atmosféry a planetu s přenosem 35 % tepla z denní na noční stranu a ukázalo se, že *JWST* bude schopen tyto dvě situace bezpečně odlišit. Autoři navíc vytvořili model atmosféry zemského typu, která by měla být snadno detekovatelné díky přítomnosti absorpčních pásů ozónu na vlnové délce 9,8 μm.

Proxima Cen je vzdálenou složkou trojhvězdy, jejíž centrální dvojici tvoří *a* *Cen A* a *B*. U složky *B* byla taktéž r. 2012 nalezena planeta s oběžnou dobou 3,24 d a hmotností minimálně 1,13 M_z. Planetu se následně nepodařilo potvrdit žádným nezávislým měřením. V. Rajpaul, S. Aigrain a S. Roberts zveřejnili analýzu veřejně dostupných dat, na jejichž základě byl objev planety oznámen a ukázali, že velmi pravděpodobně jde o falešný poplach. Oběžná doba planety je podle všeho pouze artefaktem výpočetních algoritmů vyvolaným kombinací vzkrokování pořízených dat a délou pozorovacího období.

R. Worth a S. Sigurdsson modelovali vývoj celé trojhvězdy *a Cen* jako problém tří těles s ohledem na možnost tvorby planet kolem jednotlivých složek. *Proxima* se po svém vzniku zřejmě nacházela na mnohem bližší dráze kolem centrální dvojhvězdy, teprve později byla vymrštěna na současnou vzdálenou dráhu. Dokud byla blízko, měla na tvorbu protoplanetárních disků kolem obou složek podstatný vliv; přesto podle většiny simulací i v takových diskích může vzniknout několik málo planet ve vzdálenostech ≤ 2 au. Stejně tak nedokáže blízká dráha zabránit vzniku planet kolem samotné *Proximy*. Podle autorů je tedy pravděpodobné, že se kolem všech tří složek nacházejí planety. Prokázání jejich nepřítomnosti bude naopak známkou, že celá trojhvězda prošla v minulosti bouřlivým vývojem, při němž byly planety vymeteny do prostoru.

Objekty hvězdného typu s nízkou hmotností a povrchovou teplotou nižší než 2 700 K jsou někdy označovány jako velmi chladní trpasličí. Patří mezi ně hnědí trpasličí a také velmi málo hmotné hvězdy a zajímavé jsou především proto, že v okolí Slunce tvoří přibližně 15 % všech hvězd. Teorie formování protoplanetárních systémů a planet předpovídají, že kolem takových objektů by měly existovat zatím neobjevené planety terestrického typu. M. Gillon aj. oznámili

objev tří takových planet kolem hvězdy *2MASS J23062928–0502285*, vzdálené od Země asi 12 pc. Hvězda má poloměr přibližně 0,11 R_⊕, hmotnost 0,08 M_⊕ a svítivost jen 0,05 L_⊕. Planety objevil 60cm dalekohled přehlídky TRAPPIST (*Transiting Planets and PlanetIsimals Small Telescope*), podle níž hvězda a její planetární soustava dostala populární název **TRAPPIST-1**. Oběžná doba vnitřních dvou planet je 1,5 d, resp. 2,4 d a obě se nacházejí blízko vnitřní hranice ekosféry, velmi pravděpodobně s vázanou rotací – planeta *b* dostává ve srovnání se Zemí čtyřnásobné množství osvitu, planeta *c* zhruba dvojnásobné. V systému se vyskytuje ještě jedna planeta, jejíž oběžnou dobu zatím nebylo možné určit přesně, může být kdekoli mezi 4,5 a 73 d, pravděpodobně však uvnitř ekosféry své hvězdy.

Systém *TRAPPIST-1* do budoucna představuje slibnou možnost přímé spektroskopie planetárních atmosfér. J. de Wit aj. pořídili **transmisní spektrum planet *b* a *c*** při společném přechodu přes kotouček hvězdy 4. května 2016. Spektrum získané kamery WFC3 na palubě *HST* nemá zatím dostatečné rozlišení k určení jednotlivých spektrálních čar v transmisním spektru. Na základě jeho celkového tvaru v pásmu 1,15–1,7 μm je pouze možné vyloučit, které typy atmosfér vnitřní planety s jistotou nemají. Autoři uvádějí, že atmosféry zcela jistě nejsou bezmráčného vodíkového typu, ale pro hustší modely atmosfér jsou možné jak atmosféry s vodní párou, tak atmosféry typu *Venuše* se silnými mraky.

A. Tsiaras, M. Rocchetto a I. P. Waldmann oznámili **objev atmosféry kolem planety 55 Cnc *e***. Opět pomocí kamery WFC3 na palubě *HST* pozorovali pokles jasnosti hvězdy při přechodu planety přední a z analýzy hloubky tranzitu v různých vlnových délkách odvodili přítomnost atmosféry kolem planety. Atmosféra vykazuje absorpcní čáry vodíku a hélia a kyanovodíku (HCN). Autoři uvádějí, že všechny detekované látky jsou určeny pouze zpětným modelováním spekter tak, aby odpovídala pozorovaným datům. Teprve další spektroskopie zejména v IR oblasti umožní potvrdit kyanovodík v atmosféře. Pokud se tam skutečně nachází, má to zajímavé důsledky pro planetární chemismus, zejména to, že celá planeta musí být nadprůměrně bohatá na uhlík. Při absenci vodních par, která je prokazatelná už z prvních dat, to v kombinaci s parametry celé planety – hmotnost 8,08 M_⊕, poloměr 1,91 R_⊕ – prozrazuje přítomnost krystalického uhlíku uvnitř planety.

B.-O. Demory aj. pořídili v létě 2013 pomocí *Spitzerova kosmického dalekohledu* (SST) více než 75 h pozorovacích dat v průběhu necelého měsíce a vytvořili z nich **teplotní mapu planety *e***. Planeta má vázанou rotaci, což má výrazné důsledky pro teplotu na povrchu, zejména ve spojení s faktem, že mateřskou hvězdu oběhne jednou za necelých 18 h ve vzdálenosti pouhých 0,015 au. Nejteplejší místo na povrchu se překvapivě nenachází na spojnicí mezi centrem planety a hvězdou, ale o (41 ± 12)° východněji, přičemž nejvyšší teplota dosahuje (2 700 ± 270) K. Teplota na noční straně je výrazně nižší, „jen“ (1 380 ± 400) K. Přenos tepla mezi osvětlenou a neosvětlenou stranou je tedy značně neefektivní. Podle autorů jde buď o částečně neprůhlednou atmosféru, jejíž cirkulace je omezena na denní polokouli, nebo zcela chybějící atmosféru, jejíž efekt simuluje tekoucí lávu na povrchu planety.

M. Booth aj. oznámili objev **pásu malých těles** kolem hvězdy **HR 8799** pomocí mikrovlnné observatoře ALMA (*Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array*), který je analogí *Edgeworthova-Kuiperova pásu* ve Sluneční soustavě. *HR 8799* je několik desítek Mr stará hvězda s hmotností zhruba 1,5 M_⊕, která se nachází ve vzdálenosti přibližně 39,5 pc v souhvězdí *Pegasa*. Zatím je první hvězdou, u které se podařilo přímo zobrazit více než jednu planetu (*b* až *e*, ve všech případech jde o obry). Pás malých těles se rozkládá ve vzdálenosti 145–429 au od hvězdy a na vnitřní straně je ostře ohraničen, což je silný nepřímý důkaz, že mezi ním a známými čtyřmi planetami se nachází ještě pátá planeta.

Q. Konopacky aj. pořídili podrobná astrometrická data hvězdy *HR 8799* kamery NIRC2 na druhém 10m Keckově dalekohledu mezi roky 2009 a 2014. Z analýzy vlastních pohybů je možné přímo **odvodit parametry druh planet *b* a *e***, pro zbylé planety je možné parametry pouze odhadovat na základě pravděpodobnosti. Všechny dráhy jsou patrně ve vzájemné rezonanci 1:2:4:8 a jsou koplanárni nebo pouze minimálně skloněné vůči sobě.

Kromě vnějšího pásu malých těles se kolem *HR 8799* nachází také **vnitřní pás** podobný hlavnímu pásu planetek ve Sluneční soustavě. B. Contro aj. modelovali tento vnitřní disk a podle nich začíná na 6 au a končí na 8 au od hvězdy s oběma okraji ostrými. Není souvislý, ale

nacházejí se v něm prázdná místa, z nichž nejvýraznější je tvořené čtvrtou planetou *e* v dráhové rezonanci 4:1. Vzájemná rychlosť těles ve vnitřním pásu je kolem 1,2 km/s, což je dostatečné, aby se tělesa srážela a tvořila konstantní zdroj prachu, jehož tepelné záření pozoruje observatoř ALMA.

D. Apai aj. na HR 8799 v rámci ověřovacího provozu zaměřili spektrograf SPHERE (*Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet REsearch*) na observatoři VLT a v prosinci 2014 pořídili krátkou sérii fotometrických měření všech čtyř planet. Ukázali, že při využití sofistikovaných algoritmů pro zpracování dat je možné už se současnými přístroji získat dostatečně přesná data pro **měření změn jasnosti planet mezi sebou**. To umožní přímo měřit rotační doby planet, zjišťovat variace odrazivosti povrchu např. v důsledku změn oblačnosti apod. Přímo napozorovaná data zatím neumožnila odvodit konkrétní hodnoty, protože se vlivem počasí nepodařilo získat dostatečně dlouhou časovou řadu. A. Zurlo aj. použili stejné přístroje a pořídili spektra všech čtyř planet v červené a blízké IR oblasti. Jejich měření pomohla upřesnit dráhy planet a stanovit limit hmotnosti pro případnou planetu *f* na 3–7 M_⊕. Podle autorů jsou planety *d* a *e* v dráhové rezonanci 2:1 nebo 3:2. M. Bonnefoy aj. získaná spektra použili k porovnání s modely atmosfér planet. Zatímco pro planety *d* a *e* se podařilo pozorovaná spektra přizdat k modelům prašných atmosfér, pro planety *b* a *c* žádny model nevyhovuje. Podle autorů jsou zřejmě planety méně hmotné a zakryté prachovými částicemi, proto modely selhávají.

Exoplanet v trojhvězdných systémech je zatím známo velmi málo. K. Wagner aj. oznámili **přímé pozorování planety *b* kolem primární složky trojhvězdy HD 131399**, která má zářivý výkon asi 10 L_⊕. Planeta má pravděpodobně velkou poloosu dráhy 82 au, numerickou excentricitu (0,35 ± 0,25), hmotnost (4 ± 1) M_⊕ a povrchovou teplotu (850 ± 50) K. Zbylé dvě složky tvoří těsnou dvojhvězdu, která kolem primární složky obíhají po dráze s velkou poloosou (349 ± 28) au a excentricitu (0,13 ± 0,05). Dráha planety je pravděpodobně stabilní, zatím však není jasné, jak se planeta mohla na takové dráze zformovat. Pravděpodobně vznikla jinde a na současnou dráhu se dostala teprve časem; jednou variantou je, že planeta bylo původně více a interakce mezi nimi planetu *b* odsunuly, druhou představuje scénář, v němž se planeta zformovala u těsné dvojhvězdy a primární složka trojhvězdy ji postupnými poruchami dráhy vymrštila do současné pozice.

C. Obermeier aj. objevili pomocí dat mise K2 kosmické sondy **Kepler planetu u jedné z hvězd otevřené hvězdokupy Jesličky** (M44, *Praesepe*). Hvězda K2-95 je červený trpaslík s povrchovou teplotou (3471 ± 124) K a planeta kolem ní obíhající má poloměr nejméně 3,47 R_⊕ a oběžnou dobu 10,13 d. Planeta má hmotnost cca jako Neptun, což u červeného trpaslíka překvapuje. V otevřených hvězdokupách bylo zatím nalezeno poměrně málo planet, což naznačuje, že planety v nich vznikají jinak než u samostatných hvězd.

T. Boyajianová aj. zveřejnili výsledky **dłouhodobého sledování hvězdy KIC 8462852** sondou *Kepler*. Hvězda je typickou zástupkyní spektrální třídy F3V, která nemá žádného blízkého průvodce. V průběhu několika let prodělala vícero poklesů jasnosti přibližně o 20 %, v délce 5–80 d. Přestože autoři podrobili hvězdu dalším fotometrickým i spektroskopickým měřením, měřením s vysokým rozlišením a následnému složitému zpracování dat, nenašli prokazatelné vysvětlení pozorovaných poklesů jasnosti. Je jisté, že nejde o chybou měření, zároveň však žádný navržený mechanismus nevystihuje pozorovaná data dokonale; nejblíže je vysvětlení v podobě neuspřádaného oblaku kometárního a planetesimálního materiálu, který vznikl rozbitím původního tělesa s hmotností nejméně 10⁻⁶ M_⊕ a průměrem alespoň 100 km.

Případ získal velkou publicitu zejména díky jednomu z možných vysvětlení, jímž je aktivita inteligentního života. O hvězdě s přezdívkou „Tabbyina hvězda“ přinesl bulvární tisk „zaručené“ informace o zelených pidimužících, jenž kolem hvězdy stavějí elektrárnu. Skutečně zaručené však je, že příčinu neznáme a aktivitu mimozemského života nelze vyloučit. Zároveň se na hvězdu zaměřila velká pozornost ostatních astrofyziků, díky čemuž bylo možné některé hypotézy vyvrátit. M. Hippke aj. analyzovali archivní fotometrická data harvardských fotografických desek z let 1889–1990, pomocí nichž prokázali, že **navržený setrvály pokles jasnosti KIC 8462852** (0,16 mag/století) se ve skutečnosti pohybuje v rámci statistické chyby, dané dlouhodobou nestabilitou fotocitlivé vrstvy na deskách. V. Makarov a A. Goldin provedli nezávislou analýzu dat *Keplera*, která potvrdila astrofyzikální povahu poklesu jasnosti, a navrhli jako jeho zdroj **zákryt oblakem**.

mezihvězdného materiálu, který přechází nejen před Tabbyinou hvězdou, ale i před dalšími objekty v její úhlové blízkosti. Této hypotéze nahrává skutečnost, že nedaleko KIC 8462852 se nachází mloho-vina **Simeiz 57**, což je pozůstatek po výbuchu supernovy. B. Montet a J. Simon analyzovali tuto možnost a ukázali, že různý pokles jasnosti v různých spektrálních oborech **vylučuje možnost prostého zákrytu prachoplynnym oblakem**. Podle autorů lze pozorované chování vy-svetlit kombinací zákrytu mezihvězdným materiélem a pozůstatky po srážce planet nebo velkého množství komet v planetární soustavě okolo hvězdy **KIC 8462852**. G. Harp aj. publikovali zprávu o pozorování Tabbyiny hvězdy radioobservatoří ATA (*Allen Telescope Array*), která **nezaznamenala** v pásmu 1–10 GHz žádné signály, svědčící o přítomnosti inteligentního života.

C. del Burgo a C. A. Prieto pomocí nových i archivních dat z HST určili **parametry obří planety** kolem hvězdy **HD 209458**. Hvězda má poloměr $(1,2 \pm 0,05) R_\odot$ a povrchovou teplotu $(6\,071 \pm 20)$ K, planeta **b** má poloměr $(1,41 \pm 0,06) R_\oplus$. Tutež planetu analyzovali Ch. Hellingsová aj. – modelovali její atmosféru s ohledem na předpokládané složení neprůhledných oblaků. Z jejich modelu vychází **velká pravděpodobnost přítomnosti minerálních částic** vysoko v atmosféře, pravděpodobný výskyt uhlvodíkových molekul a jen malé zastoupení vody.

K. Y. L. Suová aj. zaměřili přístroje observatoře **ALMA** na **Fomalhaut**, nejjasnější hvězdu Jižní ryby. Kolem ní obíhá planeta **Dagon**, která má značně eliptickou dráhu s velkou poloosou 177 au a oběžnou dobou cca 1 700 r. Uvnitř dráhy planety se nachází disk prachu, plynu a malých těles. Autoři zkoumali soustavu v pásmu 345 GHz (vlnová délka 1,87 mm) a ve vnitřní oblasti o poloměru 15 au **nena-známky jiného tělesa** než samotné hvězdy. Disk je ve vnitřních partiích tvořen planetesimály, z nichž se vlivem záření a hvězdného větru odpařují prachové částice a molekuly plynu, které unikají do vnějších částí disku. Vnitřní hranice ekosféry se nachází přibližně 8 au od hvězdy, která má hmotnost přibližně $1,9 M_\odot$ a zářivý výkon $16,6 L_\odot$. L. Gauchet aj. se zaměřili na **Fomalhaut** (a na sedm dalších jasných hvězd, mj. i na β *Pictoris* nebo výše zmínovanou HD 8799) přístrojem **NAOS-CONICA** na dalekohledu **VLT ESO**. Použili techniku řídké clony, která ze vstupní pupily teleskopu vytvoří interferometr a umožní měření aparatuře pracovat na hranici difrakčního limitu dalekohledu. Cílem autorů bylo ověřit, zda je možné tuto techniku použít k detekci blízkých těles, přezářených světlem mateřské hvězdy nebo primární složky. U všech osmi byla snaha nalézt blízkého průvodce neúspěšná, autoři však pro všechny hvězdy stanovili **horní mez hmotnosti a vzdálenosti** průvodce – kolem **Fomalhautu** nemůže obíhat průvodce ve vzdálenosti $1\div 2$ au s hmotností $\geq 61,1 M_\oplus$ (kolem zmínované HD 8799 nemůže být takový průvodce ve vzdálenosti $4\div 8$ au s hmotností $\geq 10,7 M_\oplus$). H. Beust aj. modelovali dráhu planety **Dagon** s ohledem na možnost, že ve skutečnosti k **Fomalhautu** není vázaná, pouze prolétá kolem, a dále s možností skrytého vnitřního průvodce v dráhové rezonanci. Podle autorů se zde neuplatňuje ani jeden hra-niční případ, který může zmást algoritmus výpočtu dráhy, takže pozorovaná výrazně eliptická dráha planety je skutečná.

Hvězda β Pictoris prodělala r. 1981 výrazný pokles jasnosti, pravděpodobně v důsledku přechodu planety přes kotouček hvězdy. R. 2003 byla existence planety potvrzena a později přímo zobrazena ve vzdálenosti $6\div 9$ au od hvězdy. A. Lecavelier des Etangs a A. Vidal-Madjar publikovali výpočty dráhy planety β *Pic b*, která by vyhověla dosavadním pozorováním a nalezli **dve možná řešení**: buď má planeta s hmotností $10\div 12 M_\oplus$ oběžnou dobu $(17,97 \pm 0,08)$ r a excentricitu 0,12, nebo je oběžná doba $(36,38 \pm 0,13)$ r a excentricita dráhy 0,32. Autoři vyzvali k průběžnému pozorování, detekce dalšího přechodu může rozhodnout, která dráha je správná.

A. Brandeker aj. publikovali výsledky IČ měření **blízkého okolí β Pic**, v němž se nachází disk tvořený plynem, prachem a malými tělesy. Z předchozích pozorování je známo, že plyn vykazuje vysoko nad-průměrné množství uhlíku; poměr zastoupení uhlíku vůči kyslíku je ≥ 20 výšší než průměrná hodnota v okolí všech hvězd. Autoři použili data ze sondy *Herschel* a dřívější data potvrdili. V disku se nachází zhuštěnina molekul plynu CO, jejíž původ je nejasný, ale stará je maximálně několik Mr. Celková hmotnost disku je jen několik zlomků M_\odot a jeho průměrná hustota je příliš nízká na to, aby se v něm ještě zformovaly další planety. Naopak v něm pravděpodobně probíhá opačný proces, tj. planetesimály se vzájemnými srážkami rozbití na menší a menší tělesa, z nichž záření a hvězdný vítr odpařuje molekuly plynu a vymetá je z disku pryč.

Tým NASA pro sondu **Kepler oznámil potvrzení dalších 1 284 exoplanet** díky nové statistické metodě, která umožňuje paralelní zpracování mnoha kandidátů naráz. Téměř 550 těchto potvrzených planet je pravděpodobně kamenných, z toho **devět je jich v ekosférách**. Celkem již tedy máme potvrzených 2 336 exoplanet, z nichž 21 s poloměrem $\leq 2 R_\oplus$ se nachází v ekosféře mateřské hvězdy. T. Morton aj., autoři zmíněné statistické metody, dále publikovali 428 falešných detekcí, zpřesněný soubor parametrů mateřských hvězd všech planetárních systémů a statistiku fyzických parametrů nalezených planet. Družice **Kepler** je citlivější na planety s poloměry v řádu jednotek R_\oplus a oběžnými dobami v desítkách dnů, celkem 3 168 kandidátů z 7 056 bylo vyřazeno jako falešné detekce, většina z nich mezi obry; je to mírné překvapení, zatím se předpokládala přibližně pětina falešných detekcí.

Podobný **poměr falešných detekcí** potvrdili A. Santerne aj., kteří se v souboru kandidátů ze sondy **Kepler** zaměřili na obří planety s oběžnou dobou ≤ 400 d. 129 kandidátů šest let prověřovali pomocí spektrografu **SOPHIE** na 1,93m teleskopu **Observatoire de Haute-Provence** a jen 45 se prokázalo jako skutečné planety, ostatní jsou buď hnědí trpaslíci (3) nebo vícenásobné hvězdné systémy (63, z nich 48 zákrystové dvojhvězdy). Po vyloučení falešných detekcí se podle autorů objeví dvě výrazné skupiny: **horčí jupiteri** s periodami do několika dní a **mírní obří** jako ve Sluneční soustavě; jen několik obřích exoplanet se nachází mezi těmito dvěma skupinami. Autoři dále upozornili na korelace mezi hustotou obřích planet a zvýšeným obsahem železa v mateřské hvězdě, jejíž původ není jasný.

I. Crossfield aj. **oznámili potvrzení 104** ze 197 kandidátů nalezených sondou **Kepler** v rámci **mise K2**; 57 z nich se nachází ve vícečetné planetární soustavě, 37 z nich má poloměr $\leq 2 R_\oplus$ a **pět doslává stejně oslnění jako Země**. Autoři odhadují, že během plánované čtyřleté mise K2 dokáže **Kepler** objevit asi 500–1 000 exoplanet. Zároveň i soubor dat z K2 potvrzuje, že **počet falešných detekcí klesá s poloměrem exoplanety a zkracuje se oběžnou dobou**; pro kandidáty s poloměrem $\geq 8 R_\oplus$ a/nebo oběžnou dobou ≤ 3 d je pravděpodobnost falešné detekce $\geq 30\%$. E. Adamsová aj. analyzovali dostupná data mise K2 pro **velmi krátkoperiodické planety** s oběžnou dobou ≤ 1 d. Nalezli jich celkem 19 s poloměry v rozsahu $0,7\div 16 R_\oplus$ a oběžnými dobami $4,2\div 23,5$ h. Dalších pět kandidátů se nachází v zakázané oblasti s poloměry $3\div 11 R_\oplus$ a oběžnou dobou $\leq 1,5$ d, kde podle teoretických modelů nemohou dlouhodobě vydržet – čeká je buď vymrštění pryč od hvězdy, nebo slavné roztrhání. Autoři také nalezli 91 nových zákrystových dvojhvězd a celkem objevili méně krátkoperiodických planet, než by odpovídalo průměru z původní mise **Kepler**. Není jasné, zda jde o přístrojový efekt, nebo astrofyzikální odlišnost rozdílných oblastí oblohy.

J. Twicken aj. zveřejnili **finální zpracování dat primární mise sondy Kepler**. Data zahrnují 17 čtvrtletí měření 198 709 hvězd (z nich 112 046 po celou dobu trvání mise), v nichž se nachází 17 320 objektů s alespoň jedním pozorovaným tranzitujícím tělesem, které vyhovuje stanoveným podmínkám jako periodická, alespoň tři pozorované poklesy jasnosti a odstup signálu od šumu. Po odečtení signálu těchto přechodů byly světelné křivky podrobeny dalším analýzám, při nichž bylo nalezeno dalších 16 802 signálu. Autoři upozorňují, že takto získaná data obsahují výšší počet falešných detekcí, což je vyváženo úplností souboru dat. S. Kane aj. publikovali z finálních dat sondy **Kepler** katalog planet, **nacházejících se v ekosférách hvězd**. V optimistické variantě vnitřní hranice ekosféry jich je celkem 104, ve skeptické variantě (tj. vnitřní hranice ekosféry se nachází ve větší vzdálenosti od mateřské hvězdy) jich je 20, ve všech případech s poloměrem $\leq 2 R_\oplus$. Pro všechny planety autoři provedli simulace vývoje planetárního systému, z nichž vyplynulo, že všechny systémy jsou dlouhodobě stabilní.

Y. Alibert a W. Benz modelovali **vznik planet v protoplanetárních discích** kolem velmi málo hmotných hvězd, které tvoří ve vesmíru nejpočetnější skupinu. Z podrobných simulací vývoje disků vyplývá, že i na velmi blízkých a krátkoperiodických drahách kolem trpasličích hvězd **vznikají planety postupným nabalováním látky**. Takové planety mají v 90 % alespoň 10 % hmotnosti v podobě vody a poloměry v rozmezí $0,5\div 1,5 R_\oplus$. Podle autorů má na podobu planet největší vliv složení protoplanetárního disku, vlastnosti mateřské hvězdy teprve druhotně ovlivňují konečnou podobu planetární soustavy.

V protoplanetárních discích se dosud podařilo pozorovat některé základní struktury, zatím jsme však nenašli takový, v němž by bylo možné pozorovat přímo vznikající **zárodky budoucích planet**. L. Pé-

rezová aj. pomocí observatoře *ALMA* pozorovali protoplanetární disk kolem mladé hvězdy *Elias 2–27 a nalezli v něm dvě spirální ramena*, patrná od vnějších částí disku směrem dovnitř až do jeho střední části. Podle autorů jde o první přímé pozorování spirálních hustotních vln, které se začnou gravitačně hroutit do zárodků budoucích planet. Celý disk má hmotnost zhruba čtvrtiny hmotnosti mateřské hvězdy, což podle mnoha počítacových simulací nestačí, aby se z hustotních vln přímo vytvořily planety; zároveň je ovšem možné, že tato právě taková spirální ramena představují způsob, jakým se z rotující protoplanetární soustavy odnáší přebytečný moment hybnosti, jehož přenos je jednou z dosud nevyřešených záhad vzniku planetárních systémů.

2.2. Hnědí trpaslíci

Hnědí trpaslíci jsou na planety příliš hmotné, ale příliš málo hmotné, aby v nich probíhaly termonukleární reakce jako ve hvězdách. G. Bihain a R.-D. Scholz analyzovali **rozložení známých hnědých trpaslíků** do vzdálenosti $\leq 6,5$ pc na obloze a zjistili, že – pozorováno v galaktických souřadnicích – je polovina oblohy téměř prázdná. Přesněji vzato ve směru, kam Slunce v Galaxii letí, je hnědých trpaslíků 5x méně než v opačném směru. Buď to znamená, že existuje fyzikální důvod, proč nejsou směry rovnocenné, nebo je zaštoupení hnědých trpaslíků všude stejně, ale naše pozorovací metody trpí nějakou směrovou slepotou, kterou neumíme vysvětlit. V obou případech jsou nutná další pozorování, aby bylo možné rozhodnout, zda se nacházíme v galaktické anomálii, či zda jde o systematickou chybu našich přístrojů.

K. Luhman a T. Esplin publikovali výsledky měření **rozložení výzářené energie** hnědého trpaslíka **WISE 0855–0714**, který je ve vzdálenosti 2,2 pc čtvrtý nejbližší ke Slunci. Pomocí spektrálních dat z observatoře *Gemini North* na *Mauna Kea* autoři potvrdili, že teplota atmosféry dosahuje jen 250 K; jde tedy o nejchladnější známé těleso svého druhu. Stejný objekt zkoumali také A. Skemer aj., kteří objevili spektrální čáry vodních par a z kombinace měření z *8,1m teleskopu Gemini, VLT, HST a IČ spekter ze SST* zjistili, že oblačná atmosféra tohoto hnědého trpaslíka připomíná spíše Jupiter než skutečnou hvězdu, ačkoliv podle všeho není tak turbulentní.

J. Hernández Santisteban aj. publikovali výsledky spektrálních analýz hnědého trpaslíka, který tvoří **sekundární složku těsné dvojhvězdy J1433**. Primární složkou soustemy je bílý trpaslík s povrchovou teplotou asi 13 000 K a obě složky kolem sebe oběhnou každých 78 min. Hnědý trpaslík vyplňuje celý svůj Rocheův lalok a jeho povrchová teplota je přibližně 2 400 K. Autoři z IČ spekter zjistili, že průměrná teplota polokoule hnědého trpaslíka, přivrácené k bílému trpaslíkovi, je trvale asi o 57 K vyšší než průměrná teplota odvrácené polokoule; nejvyšší nalezený rozdíl teplot je 200 K. Systém je pozoruhodný tím, že od primární složky dostává hnědý trpaslík přibližně stejně množství energie, jaké uvolňuje ze svého nitra gravitačním smršťováním. Modelování jeho atmosféry proto může hodně napovědět o systémech **horčích Jupiterů**, které v těsné blízkosti své mateřské hvězdy přijímají o několik rátu vyšší množství energie. Autoři dále upozorňují, že hnědý trpaslík vznikl postupnou ztrátou obálky přetokem na hmotnější primární složku, a z *původní hvězdy se tedy stala „podhvězda“*.

J. Stone aj. objevili **průvodce dvojhvězdy VHS 1256–1257**, tvořené **dvěma hnědými trpaslíky** s hmotností $64,6 M_{\odot}$. Není přesně jasné, jak je od nás tento systém vzdálen, paralaktické měření vzdálenosti udává hodnotu $(12,7 \pm 1)$ pc, zatímco ze spektrofotometrie vychází $(17,2 \pm 2,6)$ pc. Pokud platí nižší hodnota, pak jsou obě složky dvojhvězdy nejméně svítivé známí zástupci spektrálního typu $M7,5–M8$, hmotnost třetího průvodce je $11,2 M_{\odot}$; oběžná perioda dvojhvězdy pak musí být přibližně 5,87 r. Pokud je správná větší hodnota, mají složky dvojhvězdy hmotnost $73 M_{\odot}$, oběžná doba se prodlouží na 8,7 r a hmotnost průvodce vzroste až na $35 M_{\odot}$. V tomto případě je potom také trojhvězda členem **hvězdné asociace AB Dor**. Systém je teprve třetí známou soustavou tvořenou pouze hnědými trpaslíky.

M. Wolf aj. zkoumali **tři krátkoperiodické zákrytové dvojhvězdy** s nízkou hmotností a zjistili, že ve všech třech případech přesná měření relativistických efektů ukazují na přítomnost třetí složky v soustavě. Zatímco oběžná doba zákrytových dvojhvězd se pohybuje v rozsahu $0,37 \pm 0,56$ d, oběžná doba třetích průvodců vychází na 1 ± 7 r. Hmotnosti těchto průvodců jsou podle všeho $0,08 \pm 0,1 M_{\odot}$. Publikovaná práce je výsledkem spolupráce profesionálních a amatérských astronomů ze Sekce proměnných hvězd a exoplanet ČAS.

T. Karalidiová aj. analyzovali data HST z pozorování dvojice hnědých trpaslíků **Luhman 16AB** pomocí algoritmů založených na Marakových řetězcích. **Simulace nejvyšší vrstvy oblačnosti** obou složek ukázaly, že přibližně 19–38,5 % viditelného povrchu pokrývají jasnější oblaka, jejichž teplota dosahuje hodnotu až o 200 K vyšších než pozadí, na jedné složce je dokonce patrná skvrna o přibližně 51 K chladnější než okolí. Nejistota ve velikosti skvrny je způsobena neznalostí rotační periody obou složek a také časovými změnami ve spektrech v rozdílných dobách pozorování. Autoři dále upozornili na přítomnost zatím nevyšetřených prvků spektra složky B, které se objevují vždy jednou z několika stovek otoček a mezi nimi nejsou patrné.

Q. Konopacky aj. objevili pomocí kamery *Gemini Planet Imager hnědého trpaslíka v akrečním disku* u hvězdy **HR 2562** v projektované vzdálenosti $(20,3 \pm 0,3)$ au. Odhadují spektrální třídu pozorovaného souputníka na $L7 \pm 3$ a jeho jasnost vychází na $0,0098 L_{\odot}$, což při předpokládaném stáří $300–900$ Mr poskytuje odhad hmotnosti $(30 \pm 15) M_{\odot}$. Rovina oběhu hnědého trpaslíka se v rámci chyb nachází ve stejně rovině jako akreční disk, dříve objevený družicí *Herschel*. Podle všeho se hnědý trpaslík navíc nachází uvnitř mezery v disku, což je první takový známý případ. Spektrum mateřské hvězdy je poněkud netypické a není možné přímo odhadnout její stáří; autoři se přiklánějí k variantě, že **HR 2562** je stejně mladá jako její souputník.

J. Lannierová aj. pozorovali pomocí kamery *NaCo* na *VLT 58* blízkých a mladých hvězd s nízkou hmotností a spektrálním typem M a použili **Bayesovskou analýzu jejich souputníků**. Z dat vyplývá, že planeta s hmotností $2 \pm 80 M_{\oplus}$ se u málo hmotné hvězdy nachází s pravděpodobností přibližně 4,4 % (pro rozmezí hmotností 2 ± 14 s pravděpodobností jen 2,3 %) ve vzdálenostech 8 ± 400 au. Porovnáním s dřívějšími přehledy navíc autoři odhadují, že u hvězd s nízkou hmotností se planety s hmotností $\geq 1 M_{\oplus}$ a poměrnou hmotností vůči mateřské hvězdě $Q < 1\%$ vyskytují s nižší četností než u hmotnějších hvězd. Naopak se zdá, že statistická četnost planet hmotnějších $\geq 2 M_{\oplus}$ s poměrnou hmotností v rozsahu $1 \pm 5\%$ je nezávislá na hmotnosti mateřské hvězdy.

2.3. Teoretická astrofyzika hvězd

Okrajové ztemnění kotoučků hvězd je důležitým fyzikálním parametrem prakticky velké většiny simulací nebo analýz, které berou v potaz záření hvězdy, ať už jde o přechody exoplanet před hvězdou, nebo o míru ozáření atmosféry blízkého souputníka. Přesto je míra okrajového ztemnění v modelech často prezentována jen jednoduchými approximacemi. D. Kipping zveřejnil **efektivní tříparametrický ne-lineární model okrajového ztemnění**, založený na výpočtech podél tečné plochy kuželu ve směru pohledu. D. Reeve a I. Howard publikovali hodnoty okrajového ztemnění pro velmi horké hvězdy s povrchovými teplotami 15 ± 55 kK pro **různé hodnoty Eddingtonova limitu**. Autoři dále zkoumali citlivost okrajových ztemnění vůči různým parametry, jako je teplota, metalicitá, rychlosť mikroturbulencí apod., a ukázali, že ztemnění je na většině parametrů závislé jen nepatrně; jen pro velikost gravitačního zrychlení vykazuje silnější závislost.

N. Kostogryz aj. publikovali tabulky ztemnění od středu ke kraji kotoučku hvězdy pro rozsah teplot 4 ± 7 kK, $\log g \pm 5,5$ a vlnové délky 400 ± 700 nm **s mírou polarizace**, která je důležitá zejména pro interferometrická pozorování. Obecně platí, že ve směru od středu k okraji polarizace roste. Podle výpočtů autorů se dále nejvíce mění u obřích hvězd s vysokou teplotou; pro kompaktní a málo hmotné hvězdy má naopak maximum v rozsahu 4 ± 400 K.

H. Lee a S.-C. Yoon simulovali **vznik hvězd populace III**, tedy nejstarších hvězd ve vesmíru s nulovou metalicitou. V modelech nechali vznikat různě hmotné hvězdy rychlou akrecí ($\sim 10^{-3} M_{\odot}/r$) a zkoumali, jak se dynamika protostelárního disku promítá do vlastností výsledné hvězdy. Ukázalo se, že *Eddingtonův limit* pro hmotnosti hvězd větší než přibližně $5 \pm 7 M_{\odot}$ účinně brání přenosu momentu hybnosti z hvězdy na akreční disk, čímž udržuje rychlý nárůst hmotnosti až na zhruba $20 \pm 40 M_{\odot}$, kde se růst zastaví. Stejný mechanismus také udržuje poloměr hvězdy pod hranicí přibližně $\leq 50 R_{\odot}$, což mj. snižuje pravděpodobnost, že před zformováním hvězda interaguje s jinou hvězdou. Ačkoli se autoři zaměřili na první hvězdy s nulovou metalicitou, ve skutečnosti se stejný limit uplatňuje u všech hmotných rychle rostoucích hvězd bez ohledu na chemické složení protostelárního disku.

S. Naoz zveřejnil výsledky svých simulací **hierarchických systémů tří těles**, v nichž na dlouhých časových škálách dochází k oscilacím

dráhových parametrů všech tří těles. Díky výměně momentu hybnosti mezi jednotlivými tělesy dochází postupně ke změnám excentricit a sklonů drah, v některých případech až do extrémních hodnot téměř radiálního pohybu nebo naopak zcela kruhové dráhy s velmi krátkou oběžnou dobou. U určitých případů je možná i změna orientace dráhy z dopředné na retrográdní, tzv. *excentrický Kozaiův-Lidovův efekt*. Taktéž je možné vysvětlit velkou množinu pozorovaných drah např. exoplanet, splývajících zákrytových dvojhvězd či zdrojů gravitačních vln v podobě splývajících neutronových hvězd.

S. Barnes aj. zrevidovali metodu **určování stáří hvězd** hlavní posloupnosti na základě **rychlosti jejich rotace**, tzv. *gyrochronologii*. Rotační periody hvězd je možné poměrně přesně měřit pomocí rozličných jasnějších či tmavších struktur v jejich atmosférách. Pro hvězdy hlavní posloupnosti je tak možné na základě spektrálního typu a metalicity odhadnout jejich stáří s přesností $\leq 10\%$ v porovnání s např. asteroseismologickým stářím nebo s určením věku podle příslušnosti k hvězdokupě.

P. Jofréová publikovala **analýzu zkušebních hvězd** družice *Gaia*, které byly vybrány pro ověření a kalibraci pozorovaných dat. Jde o hvězdy z velkého rozsahu *Hertzprungova-Russellova diagramu*, s různými metalicitami a v různých vzdálenostech od nás. Všechny musí mít typické spektrum, přesně změřenou parallaxu, interferometricky určený průměr kotoučku, dobře určenou hmotnost a bolometrický zářivý tok. Autorka porovnala zkušební hvězdy s hvězdami stejněho spektra z různých spektroskopických přehlídek, aby prověřila požadavky na typické spektrum; ukázalo se, že pro málo hmotné hvězdy je splněno dobře, pro hmotnější hvězdy je ve spektroskopických přehlídkách méně srovnatelných hvězd. Vzdálenosti srovnatelných hvězd pokrývají všechny hodnoty až do 1,5 kpc a také různé metalicity jsou poměrně dobře zastoupeny s výjimkou hvězd s velmi nízkým obsahem těžších prvků.

S. Sichevskij zveřejnil výsledky **určování poloměru hvězdy** na základě **povrchové teploty a gravitačního zrychlení** s využitím modelů vnitřní struktury a vývoje hvězdy. Porovnáním vypočteného spektra hvězdy se skutečnými daty je pro hvězdy hlavní posloupnosti možné určit jejich poloměr s chybou $\leq 3,9\%$; pro hvězdy mimo hlavní posloupnost jsou chyby $10\text{--}25\%$. Autorovi se také podařilo dosáhnout lepší přesnosti pro hvězdy ve větví červených obrů, pro ostatní části diagramu H-R bude nutné vývojové modely zpřesnit.

2.4. Prahvězdy

H. Baobab Liu aj. pozorovali pomocí 8m teleskopu *Subaru* na Mauna Kea čtyři **protostelární disky kolem právě vznikajících hvězd** a nalezli v nich zhustky v podobě proudů, oblouků a chuchvalců. Autory napadlo, že by nárazy těchto struktur na vznikající hvězdu mohly vysvětlit zjasnění až o 5 mag, která je v oboru IČ možné pozorovat po dobu někdy až desítek let. Hydrodynamické simulace tuto hypotézu potvrzily a dřívější představa, že hvězda vzniká postupnou pozvolnou akrecí, musí podle autorů ustoupit věrohodnějším modelům vzniku hvězd. Ty musí počítat se vznikem gravitačních nestabilit v protostelárním disku, které budou „padat“ na rodící se hvězdu. Dlouhodobý dopad takových struktur např. na formování planet je zatím zcela neznámý.

Něco podobného objevili J. Goicoechea aj. v případě molekulárního mračna v mlhovině **M42 v Orionu**, kde pomocí observatoře ALMA objevili v místě zvaném **Orion Bar výrazný prostorový odstup mezi dvěma přechodovými oblastmi** – první z horkého ionizovaného plynu do teplého neutrálního atomárního oblaku a druhý z atomárního plynu do chladného plynu molekulárního. Dosud předpokládaná víceméně homogenní přechodová plocha mezi ionizovaným prostředím a chladným oblakem je ve skutečnosti protkaná sítí různě hustých struktur, které umožňují záření UV v otevřené hvězdokupě Trapéz pronikat do mnohem větších hloubek, než se dříve předpokládalo. Podle autorů je zřejmé, že oblast vznikla rychlou kompresí

rázové vlny. Interakce mezi jednotlivými částmi oblastí tvorby hvězd jsou mnohem dynamičtější a složitější, než jsme dosud soudili.

Nezávislým potvrzením tohoto závěru je práce L. Hartmanna aj., v níž autoři shrnuli současný teoretický základ akrece prahvězd s hmotností $\leq 1 M_{\odot}$. V blízkosti právě narozené hvězdy je **kličovým faktorem magnetické pole**, které v akrečním disku na vzdálenostech do několika poloměrů hvězdy vytváří struktury, jejichž hroucení na hvězdu vytváří vzplanutí, trvající od jednotek hodin až po staletí. Interakce akrečního disku a prahvězdy ještě před zažehnutím termo-nukleárních reakcí je však mnohem méně prozkoumaná. Z experimentálního hlediska je problematické, že tuto fázi nemůžeme přímo pozorovat, protože vznikající hvězda září slabě, navíc je schována uprostřed akrečního disku. Dalším problémem je, že závěrečná fáze zrodu nové hvězdy slunečního typu trvá jen asi 3 Mr, takže je poměrně malá pravděpodobnost, že některý takový systém nalezneme.

R. Decarli aj. pozorovali taktéž pomocí observatoře *ALMA* jeden z částí *Hubbleova ultrahlubokého pole* (*Hubble Ultra-Deep Field*, HUDF) a pátrali po **záření v čarách plynu CO**, který se v blízkých galaxiích nachází v oblastech *intenzivní tvorby hvězd*. K překvapení autorů se ukázalo, že **čím vyšší je červený posuv pozorovaných galaxií, tím více plynu se v nich nachází** až do hodnoty červeného posuvu $z \sim 2$; pak začne plynová složka opět klesat, ale až do $z \sim 4.5$ je stále patrná. Jde o první přímé pozorování, že hvězdy začaly vznikat už miliardu roků po Velkém třesku a o další zhruba dvě miliardy roků později bylo *tempo jejich tvorby nejvyšší*.

J. O'Meara aj. použili přístrojů na *Keckově teleskopu* na Havaji a *VLT* v Chile k pozorování v okolí čáry Lyman- α a objevili **plynový oblak v okolí kvasaru** ve vzdálenosti odpovídající stáří vesmíru jen 1,8 miliardy roků. Z podrobné analýzy spektrálních čar se ukázalo, že zastoupení prvků těžších než helium odpovídá hodnotě jen asi 1/3000 v současném okolí Slunce. Podle autorů je tak oblak pozůstatkem po vybuchnuvších hvězdách populace III, které po několika milionech let svého života obohatily okolní prostředí, původně složené jen z vodíku a helia.

F. Fontani aj. využili observatoř *ALMA* k pozorování turbulentního hustého oblaku **IRAS 16061–5048c1**, v němž objevili **různé fragmenty a struktury vláken**, které přesně odpovídají předpovězené fragmentaci v důsledku silných magnetických polí. Podle teoretických simulací hraje magnetické pole rozhodující roli v tom, do jaké výsledné podoby se husté hmotné mračno promění – zda vzniknou velmi hmotné hvězdy nebo násobné systémy, zda budou hvězdy gravitačně vázány v hvězdokupě nebo budou v prostoru samostatně atd.

J. Kainulainen aj. nalezli podobnou fragmentaci 6,5 pc dlouhého **oblaku Muška** ve stejnojmenném souhvězdí na jižní obloze. Oblak je **více fragmentovaný na okrajích**, v centrální oblasti má 1,6 pc dlouhý filament a střední vzdálenost jednotlivých fragmentů je přibližně 0,4 pc. Podle autorů jde o ukázkový příklad gravitačního hroucení oblaku, který ještě před několika desítkami Mr byl v hydrostatické rovnováze; gravitační hroucení postupuje od okrajů ke středu, kam zatím ještě nedošlo.

M. Beltránová a W. de Wit shrnuli známá pozorování **akrečních disků kolem nejmladších nalezených hvězd**. Z pochopitelných důvodů takových systémů známe více u hmotnějších hvězd, kde jsou také patrné některé trendy. Podle autorů stojí za pozornost především skutečnost, že mnoho akrečních disků má srovnatelnou hmotnost jako právě narozená hvězda, což znamená, že jsou dlouhodobě nestabilní; nevíme, zda je za tím nějaký neznámý mechanismus, který posunuje teoretickou hranici 0,3 M_{\odot} do vyšších hodnot, nebo zda se protostelární disky dokážou části látky později zbavit. Autoři upozorňují také na kvadratickou závislost rychlosti akrece na hmotnosti vznikající hvězdy, která je patrná u hmotných a velmi hmotných hvězd a Herbigových Ae/Be hvězd.

Konec dílu B

Ak sú čierne diery (v rámci Newtonovej teórie) na začiatku gravitačne nespútané, počas interakcií sa príliš neovplyvňujú, väčšinou sa hľadko minú. Tento omyl vyplýva z faktu, že Newton o gravitačných vlnách nemohol nič vedieť.

Rodriguez: „Podľa Einsteinovej teórie relativity, ktorá počíta s gravitačnými vlnami, každá čierna diera vo chvíli, keď mána inú čiernu dieru, môže generovať slabý pulz gravitačných vln. Emisia gravitačných vln pripraví sústavu o také množstvo energie, že sa obe telesá ocitnú v gravitačnom objatí a čoskoro splynú.“

Tím sa rozhodol pridať do simulácií gúlových hviezdomôp Einstineovej relativistické efekty. Vedci zistili, že polovica čiernych dier vo vnútri hviezdomôp gravitačne splýva s inými. Vo svete Newtonovej gravitácie by blízke stretnutie dvoch čiernych dier skončilo kataapultovaním jednej z nich von zo sústavy.

Splývaním dvoch stelárnych čiernych dier sa

vytvára populácia väčších čiernych dier. Ďalší osud týchto čiernych obrov závisí od ich rotácie.

Rodriguez: „Ak dve čierne diery počas splývania rotujú, ich ‘dieta’, výsledná čierna diera, bude emitovať gravitačné vlny iba jedným smerom. V takom prípade bude nová čierna diera katapultovaná z hviezdomôp rýchlosťou 5 000 kilometrov za sekundu.“

Na vyhostenie z kopy by však stačil aj ovela slabší gravitačný kopanec. Nová čierna diera unikne z kopy aj keby jej úniková rýchlosť bola iba niekoľko desiatok či stoviek kilometrov za sekundu.

Nakoľko sa predpokladá, že väčšina čiernych dier rýchlo rotuje, vedci sa domnievajú, že všetky čierne diery, ktoré sú produktom splynutia, materskú kopu opúšťajú.

Tieto predpoklady však nie sú v zhode s údajmi z detektora LIGO, ktorý zatiaľ našiel iba čierne diery s pomalou rotáciou. Rodriguezov

tím tento fakt zohľadnil. V najnovšom scenári znížil rýchlosť rotácie čiernych dier a zistil, že zhruba v päti dvojítých čiernych dier v hviezdomôpach je jednou zo zložiek taká čierna diera, ktorá vznikla splynutím dvoch rodičovských čiernych dier.

Niektoré z takýchto čiernych dier druhej generácie majú hmotnosť 50 až 130 M_⊕. Vedci sú presvedčení, že čierne diery s takou hmotnosťou sa nemohli sformovať z obyčajných hviezd. Ak sa detektoru gravitačných vln LIGO podarí objaviť aj objekt s takou hmotnosťou, nebude to pravdepodobne signál z kolabujúcej hviezdy, ale z hustej hviezdomôp.

Tím z MIT je presvedčený, že medzi najbližšimi 100 detekciami gravitačných vln z LIGO (čiže dôkazmi splynutia dvoch čiernych dier) bude prinajmenšom jedna čierna diera s takou hmotnosťou.

Physical Review Letters, MIT, E. G.

Overíme gravitačné teórie pomocou tieňa čiernych dier?

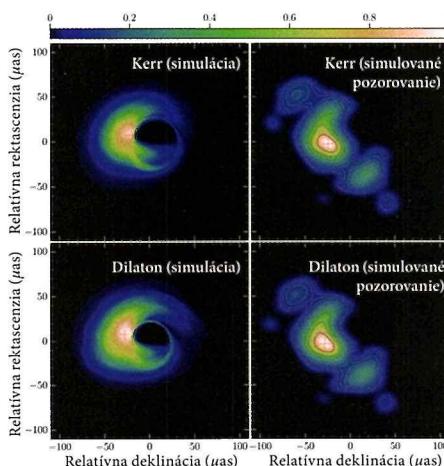
Jednou z najvýznamnejších, ale aj najkontroverznejších predpovedí Einsteinovej teórie relativity je existencia čiernych dier. Detektory LIGO a Virgo už 11-krát naznamenali gravitačné vlny, ktoré v desiatich prípadoch boli generované počas splynutia dvoch čiernych dier (v jednom prípade dvoch neutrónových hviezd). Priame detektie prezrádzajú aj polohu zdroja týchto vín, takže astronómovia môžu tým smerom zamerať aj ďalšie prístroje. V tomto prípade rádioteleskopy.

Medzinárodný tím vedcov porovnal v rámci projektu *BlackHoleCam* realistické simulácie tieňa akrejúccej (hmotu nabalujúcej) superhmotnej čiernej diery, podobnej objektu Sgr A* v jadre našej Galaxie. V jednom prípade vychádzajúcej zo všeobecnej teórie relativity, v druhom založenej na inej gravitačnej teórii. Cieľom porovnania bolo overiť, či Einsteinove čierne diery sú iné ako čierne diery v alternatívnych teóriach. Medzinárodný tím tvoria astrofyzici z Max Planck Institute for Radio Astronomy (MPIfR) v Bonne a Radboud University v Nijmegen, Holandsko.

Nie všetky fotóny, ktoré sa pohybujú v okolí čiernej diery nevyhnutne skončia za jej horizontom udalostí, teda v oblasti, z ktorej niet návratu. Časť fotónov z blízkosti tejto gravitačnej pasce môže uniknúť. Ten, kto čiernu dieru pozoruje priamo, znamená týchto fotónových utečencov ako akýsi tieň na hviezdomôp pozadí. Tvar a veľkosť tohto tieňa závisia nielen od vlastností čiernej diery, ale aj od gravitačnej teórie, ktorú použijeme na jej popis. Vedci očakávali, že najviac odchýlok od Einsteinovej teórie relativity by sa malo prejavovať tesne nad horizontom udalostí. Nakoľko rôzne teórie predpovedajú odlišné vlastnosti tieňov, priame pozorovania Sgr A* sa zdajú byť veľmi sľubným testom nášho popisu gra-

vitácie. Tieň čiernej diery v jadre Mliečnej cesty snímal interferometer *Event Horizon Telescope* (EHT), ktorý kombinuje údaje zo siedem osmich rádioteleskopov umiestnených po celom svete. Momentálne sa získané dáta spracovávajú a výsledné snímky budú publikované v najbližších mesiacoch.

Členovia európskeho tímu *BlackHoleCam* postúpili o krok ďalej a skúmali, do akej miery je možné odlišiť rotujúcu (Kerrovu) čiernu dieru popísanú Einsteinovou teóriou gravitácie od čiernej diery označovanej ako „dilaton“, ktorá je možným riešením alternatívnej teórie gravitácie. Vedci študovali vývoj hmoty nabáľovanej dvomi odlišnými modelmi čiernych dier. Určili vlastnosti emitovaného žiarenia



Simulácia tieňa Sgr A pre model rotujúcej (Kerrovej) čiernej diery (v hornom páse) a ne-rotujúcej čiernej diery typu dilaton (v dolnom páse). Obrázky v ľavom stĺpci sú produkтом všeobecno-relativistických, magneto-hydrodynamických simulácií. Snímky v pravom stĺpci ukazujú, ako by sme tieto objekty mohli detegovať pomocou súčasnej generácie rádioteleskopov.*

a pomocou neho vytvorili snímky skúmaných objektov. Do simulácie zakomponovali aj fyzikálne vlastnosti v medzhviezdnom prostredí, ktorým žiarenie prechádza, ako aj podmienky detektie žiarenia pomocou skutočných rádioteleskopov. To im umožnilo vytvoriť simulované, no fyzikálne realistické snímky.

Yosuke Mizuno, vedúci tímu: „Efekty prejavujúce sa v rôznych modeloch čiernych dier sa nám podarilo zachytiť pomocou realistických simulácií akréčnych diskov uskutočnených na superpočítači LOEWE.“

Očakávané rádiové snímky majú obvykle limitovanú rozlišovaciu schopnosť, čo možnosti rozlíšenia jednotlivých modelov čiernych dier značne komplikuje. Aj keď si vedci tieto limity uvedomovali, náramne ich prekvapilo, že aj čierne diery, ktoré sa výrazne odlišujú od Einsteinových predpovedí sa môžu maskovať za „normálne“ čierne diery.

Luciano Rezzolla, profesor na Goethe University, vedúci frankfurtského tímu: „Zistili sme, že existujú teórie gravitácie, ktoré umožňujú čiernym dieram vyzeráť tak, ako keby patrili medzi čierne diery podľa Einsteinových predpovedí. Do takej miery, že bez nového prístupu k analýze pozorovaní by sme ich nedokázali spoloahlivo rozlíšiť... Správnosť teórie relativity nespochybňujeme, ako vedci sme však otvorení aj iným názorom. Budúce pozorovania môžu všetky pochybnosti rozptýliť.“

Michael Kramer, šef Max Planck Institute for Radio Astronomy: „Samozrejme, nezávisle informácie, ktoré aktívne hľadáme, pomôžu tieto nejasnosti eliminovať.“

Heino Falcke, profesor na Radboud University, muž, ktorý už pred 20 rokmi navrhhol využívať rádioteleskopy na snímanie tieňov čiernych dier, je optimisticejší: „Stále existujú pochyby o tom, či EHT nakoniec získa silné dôkazy o tieni čiernej diery v centre Galaxie. Tieto výsledky nás však motivujú, aby sme vylepšili naše metódy nad rámec súčasného stavu, a získali tak v budúcnosti ešte ostrejšie snímky.“

Max Planck Society Press Release; Nature Astronomy, E. G.

Pátranie po mimozemských civilizáciách (3)

Obligatórna otázka: „...tak kde teda sú?“

Dnes pokračujeme v opise snaženia zistiť, či sme vo vesmíre sami. V prvej, úvodnej časti sme opísali základné informácie o projekte SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence), o histórii jeho vzniku a predpokladoch riešenia najmä pomocou rádiotelekomunikácie. Ďalej sme sa zoznámili s Drakeovou rovnicou, ktorá pri splnení určitých predpokladov udáva pravdepodobnosť existencie inteligentnej civilizácie v Galaxii. V druhej časti sme opísali metódy pátrania po exoplanétoch okolo iných hviezd a informovali sme o doterajších výsledkoch.

Úvod

Z Drakeovej rovnice:

$$N = R * f_p * n_e * f_l * f_i * f_c * L$$

nám ostáva opísat ďalšie posledných 5 členov: n_e počet obývateľných planét v planetárnej sústave;

f_l pravdepodobnosť vzniku života;

f_i pravdepodobnosť vzniku (vývoja) inteligentných tvorov;

f_c podiel civilizácií komunikujúcich pomocou rádiových vĺn;

L doba, počas ktorej je civilizácia schopná komunikovať s okolím.

Počet planét v planetárnej sústave, vhodných na život (n_e)

Na sympóziu v Green Bank (1961), ktoré sme spomenuli v prvej časti, odhadli n_e na 3 až 5. Viacerým „odhadcom“ sa však tento údaj zdá oprávnené príliš optimistický.

Urobme si teda vlastný odhad. Obývateľná zóna musí byť v takej vzdialenosťi od centrálnej hviezdy, aby mala prijateľnú teplotu. Obyčajne sa táto požiadavka vyjadruje vetou, že voda musí byť v teku v stave. Zo Slnka prichádza na Zem energia okolo 1370 W/m^2 . V stave dynamickej rovnováhy (prijatá energia sa vyžiari v inom rozsahu vlnových dĺžok)

a pri zjednodušujúcich predpokladoch (bez ohľadu na absorpciu, albedo a pod.) dostaneme pre strednú teplotu Zeme hodnotu 279 K , teda 6°C . Rozsah teplôt vody v oceáne od pólu k rovníku kolíše medzi 0°C a 28°C . Ak budeme počítať s rozsahom globálnych teplôt, $265 - 293 \text{ K}$, potom by vhodná poloha zóny (pre podmienky podobné v Slnečnej sústave) bola v rozsahu $0,9 - 1,1 \text{ AU}$.

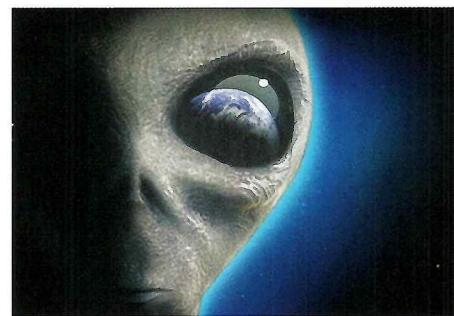
Pre zaujímavosť: ak by Zem bola od Slnka vo vzdialosti Venuše ($0,72 \text{ AU}$), táto teplota by bola $+56^\circ \text{C}$, vo vzdialosti Marsu ($1,52 \text{ AU}$) -47°C .

Sírka obývateľnej zóny vychádza takto iba $0,2 \text{ AU}$. Ak by sa všetky planetárne sústavy podobali na našu, kde minimálna vzdialenosť planetárnych dráh je $0,3 \text{ AU}$, potom správny odhad pre n_e by bol okolo $0,7 \text{ AU}$, teda z desiatich hviezd s planetárной sústavou môže byť sedem takých, že obsahujú planétu v obývateľnej zóne.

V ďalších častiach Drakeovej rovnice sa budeme pohybovať na tenkom lade. Musíme zabrániť do biológie a pritom do takých časťí, v ktorých nepanuje ani medzi biológmi jednotný názor. Ide o pôvod života na Zemi, vývojové cesty organizmov, pôvod a vývoj inteligentného života a vývoj civilizácie ako celku. Často sa tu stretнем s kontroverznými názormi, z ktorých si musíme vybrať, to znamená včleniť do textu aj vlastný názor.

Podiel z vyššie uvedeného počtu planét, na ktorých môžeme objaviť život (f_c)

Otázku „Čo je živé a čo nie?“ rieši biológia vymenovaním atribútov, ktoré boli uvedené v rozšírennej forme aj v tomto časopise v článku J. Petra (Kozmos 4/2013 s. 19). Ak si ich zostručníme, bude to: „živé organizmy rastú a využívajú sa, prebieha v nich premena látok a energie, rozmnožujú sa a reagujú na vonkajšie podnety“.



Opis atribútov sa dá rôznym spôsobom rozšíriť, ale aj tak niekedy ľahko rozlíšime, či daný predmet je živý, alebo nie. Zvlášť to platí pre fosílie – pozostatky po živých organizmoch. Ľahko sa dá niekedy odlišiť anorganická látka od fosílie. Exemplárnym príkladom môžu poslúžiť výsledky biologických experimentov dvoch sond Viking, ktoré pristáli na Marse v roku 1975. Hoci ich určite pripravovali významní biológovia, neposkytli jednoznačnú odpoveď na otázku či je, alebo bol na Marse život.

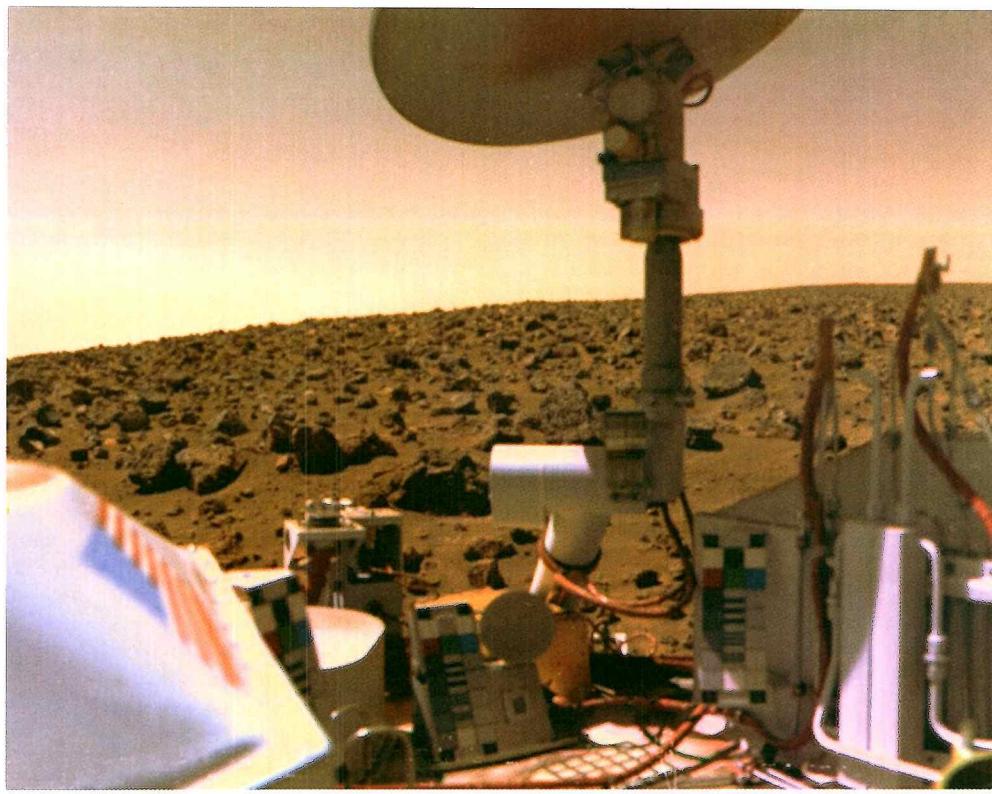
Nepoznáme žiadny iný život ako je na Zemi, t. j. organizmy zostavené z buniek. Znamená to, že všetko živé na Zemi pochádza z jednotného vývojového postupu. Ani pri dôkladnom prieskume sa nenašli baktérie iného pôvodu. Aj samotnú bunku považujeme za živý organizmus. V bunke priemernej veľkosti (rádovo $5 \mu\text{m}$) sa nachádza okolo 6 miliárd atómov biogénnych prvkov spojených v rozličných makromolekulách: C, H, N, O, P, S, Na, K, Mg, Ca, Mn, Si, Fe.

Je taktiež možné, že život sa na Zemi objavil niekol'kokrát. Prerušenie vývoja mohol spôsobiť dopad asteroidu, alebo iná katastrofa.

Na pôvod života na Zemi existujú dva názory, pričom prvý počíta s mimozemským pôvodom. Hypotéza panspermie, čiže šírenia



Farebný pás ohraňuje obývateľnú zónu v Slnečnej sústave.



Sonda Viking 1 na Marse.

života v Galaxii (či v celom vesmíre), hovorí o jeho šírení z jedného zdroja, prípadne pričinením vyspej civilizácie, ktorá pomocou automatických sond pripravuje vhodné planéty na kolonizáciu. Podľa druhého názoru vznik a vývoj životných foriem je zákonitá súčasť vývoja planéty, ktorá sa nachádza v obývatelnej zóne.

Podľa geologických prieskumov sa život na Zemi objavil v čase, keď sa Zem približne pred dvomi miliardami rokov dostala do obyvatelnej zóny (aj keď prvé známky primitívneho života sa na Zemi objavili už pred vyše 3,5 mld. rokmi). Dôležitým pre pochopenie vývojového procesu života je poznatok, že voľný kyslík aj zemská atmosféra ako celok sú už produktmi metabolismických procesov prebiehajúcich v živej hmote.

Ak bude nezávisle sa vyvíjajúci život objavený inde, napr. na Marse, Európe, Encelade alebo na Titane, potom môžeme uvažovať, že f_i je blízke jednotke.

Podiel planét so životom, v ktorom sa vyvinú inteligentní tvorovia (f_i)

Aj v tejto časti panujú kontroverzné názory. Tí, ktorí preferujú veľmi nízku hodnotu tohto koeficientu argumentujú skutočnosťou, že z miliárd biologických druhov, žijúcich na Zemi, je inteligentný iba jeden jediný. A iní, ktorí uprednostňujú vyššiu hodnotu, uvádzajú v súvislosti s vyššie uvedeným, že pri existencii života je vznik inteligencie nevyhnutný a je iba otázkou času.

Život na Zemi sa objavil rýchlo po jej sfornovaní. Geológia uvádzá, že vek Zeme je 4,55 miliárd rokov. Hoci prvé stopy života dnes nachádzame už pred dvomi miliardami rokov, prudký rozvoj životných foriem (už na suchu, lebo sa predpokladá, že život vzni-

kol v mori) prebiehal hlavne v kambru (prvá časť prvohor – paleozoika) pred 540 miliónmi rokov.

Vznik ľudskej spoločnosti, čo môžeme považovať za vznik inteligentného života, datujeme do starších štvrtohor (pleistocénu), teda na svoj vývoj mal k dispozícii dobu približne 540 miliónov rokov.

Počas tohto vývoja vzrástol u druhu *Homo sapiens* objem mozgu na $1200 - 1400 \text{ cm}^3$ pri priemernej hmotnosti 60 kg. Pri ostatných cicavcoch je to v priemere 200 cm^3 pri rovnakej hmotnosti. Táto skutočnosť môže byť rozhodujúca pre vznik inteligentného života a pre koeficient f_i môžeme tiež odhadovať hodnotu blízku jednotke.

Koeficient pre podiel (rádio) komunikujúcich civilizácií (f_r)

Pre tento koeficient, s ohľadom na to, že ide o vyspelú civilizáciu, môžeme uvažovať hodnotu 1. Zámerné hlásenie o vlastnej existencii poznáme zatiaľ iba pri našej vlastnej Zemi. Uskutočnilo sa pomocou rádioteleskopu v Arecibe. Pre dosah k najbližším hviezdam potrebujeme vysoko výkonný signál, čo vyžaduje veľký príkon. Táto činnosť závisí teda od energetickej výkonnosti civilizácie, preto sa u nás zatiaľ vysielala veľmi zriedka. Civilizácia o trocha rozvinutejšia ako naša by mohla byť schopná zachytiť pozemský rádiový šum z komerčného vysielania. Pokiaľ ide o pozemské rádioteleskopy, tie sú schopné zachytiť vysielanie, ktoré je energeticky na pozemskej úrovni, iba do vzdialenosť okolo 0,3 pc.

Koeficient bol do rovnice zaradený pravdepodobne iba preto, že F. Drake bol rádioastronom. Ak existuje inteligentná civilizácia, potom určite ovláda aj techniku rádiokomunikácie.

Zivotná doba civilizácie, počas ktorej dokáže komunikovať s okolím (L)
Tento člen rovnice nie je a zrejme ani neboli určitejšie definovaný, najmä totiž nie je jasné, čo sa vlastne myslí pod pojmom *civilizácia*. Podľa môjho názoru by to malo byť celé ľudské spoľočenstvo, teda pre začiatok L by mala byť rozhodujúca doba, od kedy bolo schopné komunikovať s okolím pomocou rádiotechniky a koniec po prípadnom zániku civilizácie. Niektorí autori však pod pojmom civilizácie myslia kultúru, napr. perzská, egyptská, rímska apod.

Historik vedy M. Shermer pre L podľa posledného kritéria našiel hodnotu 420 rokov, na základe trvania šesťdesiatich historických kultúr. Ak počítal iba s novšími, od rímskeho impéria, potom napočítal pre 28 „moderných“ kultúr pre L hodnotu 304 rokov. Tie-to civilizácie však neboli schopné komunikovať s objektmi v kozmickom priestore, preto pre Drakeovu rovniciu je takéto určenie L problematické.

Astrobiológ D. Grinspoon argumentoval, že dostatočne vyvinutá civilizácia je schopná vydržať všetky ohrozenia a môžeme pre ňu určiť neobmedzenú dobu trvania.

Podľa astronóma C. Saganu môže mať hodnota všetkých koeficientov v Drakeovej rovnici vysokú hodnotu, až na L. Podľa Saganovo názoru sú technické civilizácie náhľivne na sebažičenie, preto Drakeova rovnica môže byť okrem iného aj motivujúcim faktorom pre snahu chrániť životné prostredie a súčasne varovaním pred použitím jadrových zbraní.

Rozsah výsledných hodnôt N

Z vyššie uvedených odhadov vyplýva, že pre N dostaneme hodnoty vo veľmi širokom rozsahu. Výsledkom je v podstate názor, ktorý sme vedeli už na počiatku: bud' sme vo vesmíre sami, naša civilizácia je jedinečná, alebo je civilizácií veľa, zatiaľ sme ich však nezaznamenali. Najpravdepodobnejšou príčinou môže byť nízka hodnota L, t. j. z rôznych príčin obmedzená doba existencie technicky vyspej civilizácie. Ak však z rovnice L vylúčime, potom je Drakeova rovnica dobrou pomôckou na analýzu a fundovaný odhad ostatných koeficientov.

Publikované odhady N pre Galaxiu sú od 1, pri zadaní hodnoty L = 300 rokov (naša civilizácia), teda v tejto Galaxii sme sami, až po 15,6 milióna pri zadani hodnoty 1 miliarda pre L. Znamená to, že približne na každých 100 hviezd pripadá jedna s inteligentným životom.

Skutočnosť, že počet technologických civilizácií závisí od doby jej životnosti (L) už sama o sebe zdôrazňuje, že kozmickú evolúciu ovplyvňuje predovšetkým sociálna evolúcia. Za hlavný prínos Drakeovej rovnice môžeme preto považovať skutočnosť, že kodifikovala kozmickú evolúciu pre modernú dobu.

Milan Rybansky

Jedenášť kúpol hurbanovskej hvezdárne (2)

Venované 175. výročiu narodenia Mikuláša Thegeho Konkolyho

V roku 1875 predal Konkoly svoj 4-palcový Steinheilov dalekohľad do Záhrebu a nahradil ho kvalitným 6-palcovým (162 mm) Merzovým refraktorom. Tento dalekohľad bol dlhé roky najviac používaným prístrojom hurbanovskej hvezdárne. Mal široký okulárny výťah, ktorý umožňoval nasadenie aj tých najväčších spektroskopov. Stal sa tak hlavným prístrojom astrofyzikálneho výskumu. Tomuto výskumu a v rámci neho hlavne spektroskopii bol podriadený aj ďalší rozvoj observatória. V žiadnej inej inštitúcii na svete nebolo toľko spektroskopov ako v tunajšej hvezdárni. Okrem spektra hviezd, Slnka, kométy a meteorov sa skúmali aj spektrá polárnych žiar, zodiakálneho svetla a rôznych typov bleskov počas búrok.

Hvezdáreň s tromi kupolami. Prvá verzia

Pre nový refraktor však bola stará bubnová kupola malá. Takisto ako aj nová železná kupola sa ukázala byť úzkou pre veľký Brownin-gov reflektor. Konkoly riešil problém tak, že pre Browningov dalekohľad postavil v roku 1877 samostatnú vežu s bubnovou kupolou. Kupola mala priemer 5 metrov. Jego veža stála na brehu jazierka za južnou kupolou a mostom bola spojená s poschodím hlavnej budovy. Browningov reflektor bol v nej inštalovaný 15. októbra roku 1877.

Nový 6-palcový Merzov refraktor dal Konkoly do takto vyprázdnejnej polguľovej železnej kupoly, ale už na novom stojane s paralaktickou montážou od firmy T. Cooke z Londýna. Odvtedy znie presné označenie dalekohľadu *Merzov-Cookeov refraktor*. V jeho výbave bolo 12 okulárov (objekty umožňovali zváčšovať od 7x do 400x), jeden vláknový pozičný mikrometer, Zöllnerov spektroskop a polarizačný helioskop. Jeho pomocnými prístrojmi boli duplex-koronograf a ortotúrou kompenzované kvadlové hodiny.

Starý stojan zo železnej kupoly premiestnili do malej bubenovej kupoly, kde naň namontovali 3-palcový Rheinfelderov-Konkolyho heliograf na pozorovanie slnečných škvŕní. Bol to špeciálny, Konkolum vyrobený, dalekohľad bez tubusu (kvôli redukcii tepla v dalekohľade) s kvalitným *Rheinfelderovým 80/1212 mm objektívom*. Projekčná doska bola na prístroj pevne namontovaná, takže dalekohľad slúžil len na zakreslovanie slnečných škvŕní. Tako sa v Hurbanove pozorovali slnečné škvŕny od 1. novembra 1877 do 24. novembra 1884, kedy prístroj nahradili väčším a kvalitnejším 4,5-palcovým heliogramom, ktorého jednotlivé časti pochádzali od rôznych firem. Objektív priemeru 4,5 parížskych palcov (122 mm) s ohniskom 54 parížskych palcov (1462 mm) dodala firma Merz, stojan a montáž Cooke, okuláre boli od Reinfeldera – takže Konkoly pokladal za najrozumnejšie poskladať prístroj sám. Tubus vyrobil z Bessemérovho ocelového plechu, dal mu dobrý hodinový stroj s kvalitnými pohonmi a stabilnú odnímateľnú

projekčnú dosku. Ním sa pozorovali slnečné škvŕny až do konca prvej svetovej vojny.

Ked' v roku 1881 predal Konkoly svoj 10,5-palcový Browningov reflektor J. Gothardovi, osotala hvezdáreň bez veľkého dalekohľadu. Jeho dobrý známy S. Merz sice vybrúsil vynikajúcu 254 mm šošovku, ale nemal kto zhotoviť ostatné časti dalekohľadu; Repsold, Cooke aj Grubb mali veľa objednávok. Na jeseň roku 1881 sa preto Konkoly vydal na okružnú cestu po Európe aby sa zoznámil s tou najlepšou astronomickou technikou. Inšpirovaný Repsoldovými refraktormi (Potsdam – 12'', Strasburg – 18'') sa v októbri pustil do konštrukcie drevených modelov jednotlivých častí nového dalekohľadu. Popri strojnom zámočníkovi zamestnal aj jedného mechanika a už v nasledujúcom roku 1. mája 1882 postavili vo veľkej bubenovej kupole hvezdárne nový 10-palcový (254 mm) Merzov-Konkolyho refraktor, ktorý sa stal hlavným prístrojom observatória. Celý prístroj vážil 3 tony, z toho 700 kg pripadalo na jeho pohyblivé časti.

Znovu však nastal problém s rozmermi kupoly. Bubnová kupola priemeru 5 m bola pre nový dalekohľad s ohniskom 4,24 m malá, a keď s ním v noci pracoval, vždy sa obával, že objektívom do niečoho narazi. Preto v roku 1885 odmontoval veľký dalekohľad a celú vežu aj s bubenovou kupolou predal barónovi G. Podmaniczkému do Kiskartalu. Hlavná budova observatória tak mala opäť len dve kupoly.

V parku hvezdárne sa popri hlavnej budove postavilo podľa potreby niekoľko menších pavilónov. Do nich umiestňovali rôzne dalekohľady vyrobené podľa Konkolyho plánov v dielni observatória.

Napríklad špeciálny hľadáčik kométy bol umiestnený v malom drenenom domčeku, ktorý stál na ostrovčeku uprostred jazierka za hlavnou budovou. Pri pozorovaní sa domček jednoducho odsunul nabok a pozorovateľ sediaci v otáčajúcom sa kresle veľmi pohodlne a rýchlo mohol prehliadať celú oblohu.

V ďalších dvoch domčekoch s otáčateľnými bubenovými kupolami bol postavený heliograf na fotografovanie Slnka a duplex-dalekohľad na fotografovanie Mesiaca. *Fotoheliogramom* so Steinheilovým objektívom sa dali podľa nastavenia dalekohľadu robíť snímky slnečného disku priemeru od 60 do 100 mm.

Steinheilov-Konkolyho Duplex fotorefraktor tvorili jeden sotva 3-palcový (70 mm) objektív (Barlowova šošovka) a práve vtedy z veľkého dalekohľadu uvoľnený 65 mm hľadáčik, ktorý slúžil ako pointér. Ním získané snímky Mesiaca mali priemer 7 cm.

Aby uľahčil a spresnil určovanie času na hvezdárni, vyrobil Konkoly v lete roku 1880 jeden *pasážnik Pistorovho-Martinsovo typu*. Pre nový prístroj postavili ďalší samostatný drevený pavilón. Pomocou neho určený presný čas sa prenesol na vedľa stojace *Cookeove hodiny*, ktoré od 1. septembra 1880 slúžili ako časový normál hvezdárne. Podľa nich nasta-

vovali každý deň o 10:00 všetky ostatné hodiny observatória. Starý meridiánový kruh v hlavnej budove observatória používali odvtedy najmä na pozorovanie asteroidov.

Ked' H. Kobolda (nemecký astronom zamestnaný v Hurbanove v rokoch 1880 – 85) zvolili za člena nemeckej „Venus expedície“, požícal si Konkoly na jar roku 1882 zo skladu voľakédajšej budínskej hvezdárne Gellért-hegyi jeden heliometer. Bol to prístroj vyrobený Fraunhoferom, ktorý sa stal slávnym zásluhou Besselovej činnosti ako „Königsbergský Heliometer“. Umiestnili ho v samostatnej malej otáčateľnej kupole pri južnom okraji parku s dobrým výhľadom na južnú oblohu (nedaľoko pavilónu s pasážnikom). Prístroj dostal podobnú výbavu (najmä pohony), akú mali prístroje v Amerike. Takto mohol Kobold načiňovať heliocentrické merania, ktoré potom vykonal v Aikene (Južná Karolína, USA) počas prechodu Venuše pred slnečným diskom dňa 6. 12. 1882.

Tieto dva drevené domčeky, v ktorých boli pasážnik a heliometer, sa stali základom neskôr malej hvezdárne, ktorá dostala prezývku „americká hvezdáreň“.

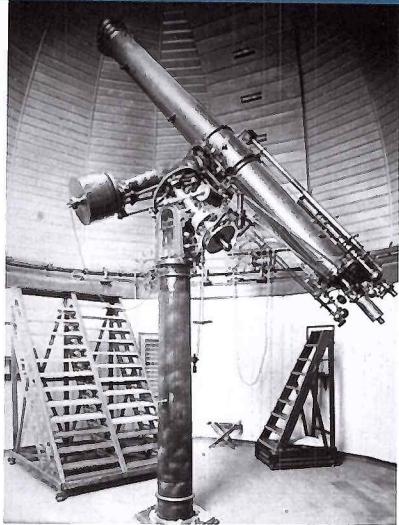
V čase Koboldovej neprítomnosti, ktorý svoj pobyt v Hurbanove niekoľkokrát prerušil, bol v kupole heliometra postavený *Zöllnerov Astrophotometer* na pozorovanie hviezdnych spektier.

Hvezdáreň s tromi kupolami. Definitívna podoba

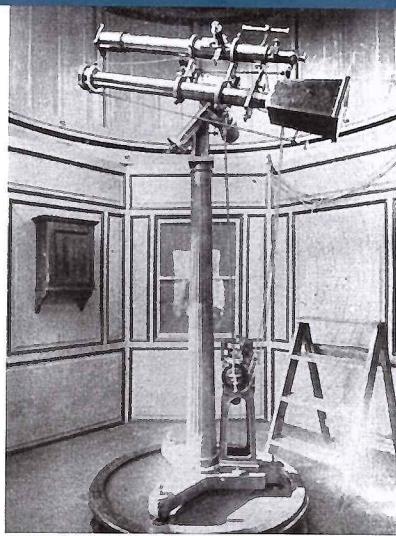
Prvú polovicu rokov 1880 niektorí historici nazývajú „zlatým vekom“ starodalskej hvezdárne. Po definitívnom odchode Kobolda a Kövesligethyho, a odmontovaní veľkého dalekohľadu aktivita hvezdárne trochu ochabala. Samotný Konkoly, znechutený postojom vtedajších vládnych kruhov k problematike rozvoja astronómie, sa uchádzal (neúspešne) o uvoľnené miesto riadiťa hvezdárne v nemeckom mestečku Gotha. Dokonca ponúkol aj svoje prístroje na čas, kým tam bude riadiť. Kým však jeho žiadosť doručili, miesto riadiťa už bolo obsadené. Konkolumu, ak chcel udržať tempo astrofyzikálneho rozvoja, neostávalo nič iné len sa opäť pustiť do výstavy svojho observatória.

Nakoľko predal bubenovú kupolu spolu s drevenou vežou, bolo potrebné pre veľký dalekohľad postaviť novú vežu. Najmladšia časť hurbanovskej hvezdárne, severná veža aj s novou kupolou, bola dokončená v roku 1889. Novú sedemmetrovú železnú kupolu tvaru pologule zhotovil podľa Konkolyho plánov komárňanský strojár Kühne. Do nej sa už pohodlne zmestil medzičasom celkom prebudovaný *Merzov-Konkolyho dalekohľad*. Jeho znovuvedenie do prevádzky sa odohralo asi v auguste 1889.

Najstarší obrázok znázorňujúci už tradične známu podobu observatória s tromi kupolami som našiel v novinách „Vasárnapi újság“



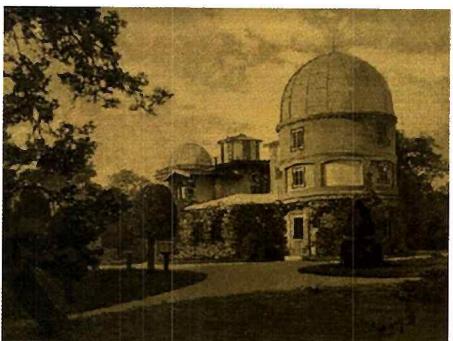
10-palcový (254/4240mm) Merz-Konkolyho refraktor z roku 1882.



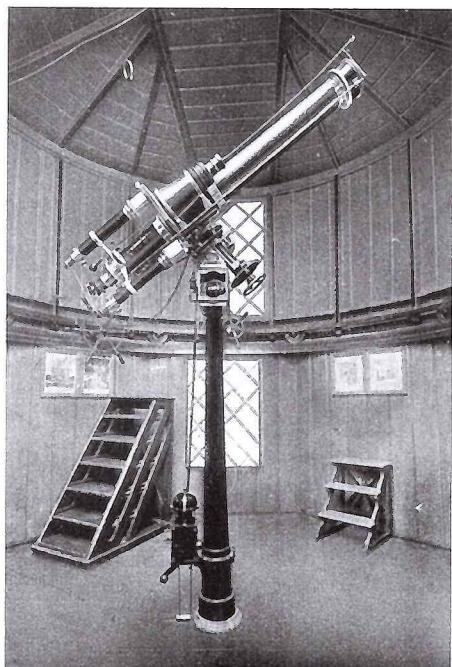
Malý Steinheilov-Konkolyho Duplex foto-refraktor na fotografovanie Mesiaca postavený v samostatnom domčeku s bubenovou kupolou.



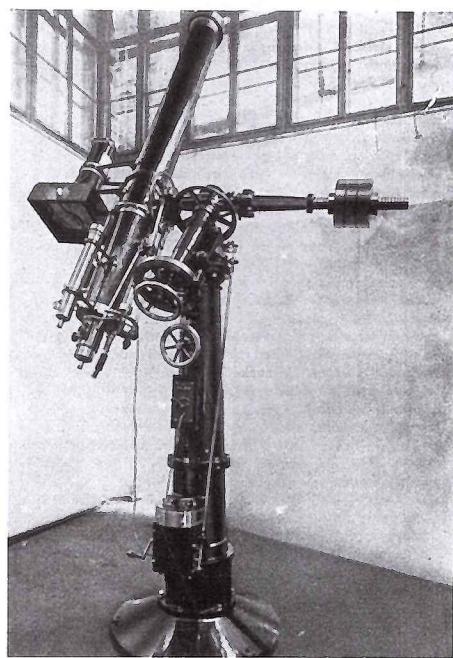
Hlavná budova hvezdárne v roku 1896. Pohľad zo zadu.



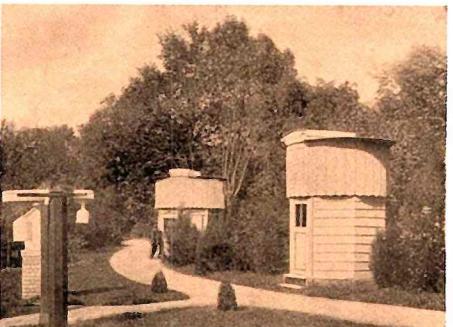
Podľa kresby urobenej z Konkolyho negatívu vyzerala hvezdáreň v roku 1891 takto.



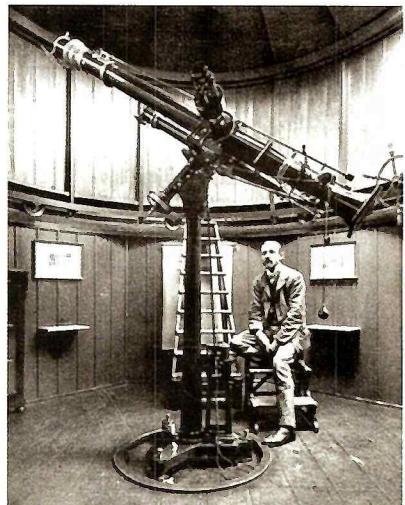
Merzov-Konkolyho 130 mm refraktor vo východnej kupole americkej hvezdárne.



Osemopalcový (200 mm) Heyde refraktor so Schwarzschildovou kamerou.



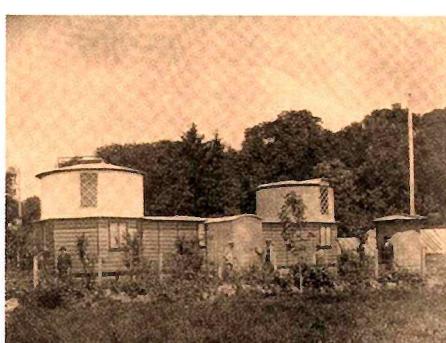
Kupoly Steinheilovho-Konkolyho heliografa a Duplex ďalekohľadu. V druhej bol v roku 1904 postavený Töpferov veľký fotometer.



Veľký 135 mm fotoheliograf v západnej kupole americkej hvezdárne.



Budova hvezdárne pred jej rekonštrukciou v druhej polovici 80-tych rokov minulého storočia.



Hlavnou budovou didaktického observatória bola tzv. „americká hvezdáreň“.

z 28. 2. 1892. Bol nakreslený podľa Konkolyho negatívu, ktorý bol urobený pravdepodobne ešte v roku 1891. Najstaršia fotografia hvezdárne pochádza z roku 1896. Zobrazuje hlavnú budovu observatória zo zadného pohľadu, od jazierka nachádzajúceho sa v parku hvezdárne. Pri ľavom rohu budovy vidieť ďalší malý

domček s otáčavou bubenovou kupolou. Ten bol neskôr premiestnený k už vyššie spomenutým malým dreveným pavilónom, z ktorých sa postupne vytvorila neskôršia „malá hvezdáreň“. Aj budova s troma kupolami prešla počas desaťročí viacerými prestavbami, ale zostala kmeňovou budovou dnešnej hvezdárne. Jej

staršiu časť, základom ktorej bol starý kúpel-ný dom, v druhej polovici 80-tych rokov zbúrali a v pôvodnom výzore znova postavili. V roku 1890 vymenovali Mikuláša Thegeho-Konkolyho riaditeľom Uhorského kráľovského meteorologického a geofyzikálneho ústavu. Hoci sa musel prestúpať do Budapešti a tým



Špeciálne upravený hľadač komét v otáčajúcom sa kresle.

preruší pravidelné pozorovania, na svoju hvezdáreň nezanevrel, naopak pokračoval v jej ďalšej modernizácii. Aj keď odvtedy bol v Hurbanove iba v lete, z pozície riaditeľa meteorologického ústavu tam zriadil meteorologickú pozorovaciu stanicu; jej pracovníci ako štátne zamestnanci vykonávali aj nepretržité astronomické pozorovania. V ním zariadenej technickej dielni meteorologického ústavu sa opravovali, ale aj vyrábali rôzne nové astronomické prístroje.

Ako riaditeľ významnej štátnej inštitúcie a neskôr – od roku 1896 – aj poslanec uhorského snemu, pokračoval v dlhorocnom snažení odovzdáť hvezdáreň pod štátne správu. Postaral by sa tak o jej budúcnosť, pričom by vznikla ústredná štátна hvezdáreň, schopná zabezpečiť nepretržitý astronomický výskum v krajinе. Bezdety Konkoly sa totiž obával, že po jeho smrti jeho súkromná hvezdáreň zanikne. Popri tom videl, že samotná údržba a rozvoj čoraz väčšieho observatória už prekračuje jeho materiálne možnosti.

Po dvoch neúspešných ponukách – najprv bratislavskej a potom budapeštianskej univerzite – sa mu nakoniec podarilo odovzdať svoju hvezdáreň štátu ako dar. Darovaciu zmluvu podpisali 16. mája 1899 s podmienkou, že štát bude prevádzkovať hvezdáreň s najmenej troma stálymi zamestnancami a on bude až do svojej smrti jej neplateným riaditeľom. Ďalšou podmienkou bolo, že hvezdáreň nemožno bez jeho súhlasu z Hurbanova odstraňovať.

Po zoštátnení získala hvezdáreň všetky astronomické prístroje štátneho meteorologického a geomagnetického ústavu. Zo štátneho rozpočtu sa zakúpilo mnoho ďalších nových prístrojov, prišli noví kvalifikovaní zamestnanci a rozbehli sa nové výskumné programy.

Hlavným programom hvezdárne sa stala hviezdna fotometria a fotografia, resp. fotografická fotometria.

Medzi novo zakúpenými prístrojmi boli *Breithauptov teodolit*, malý (zakúpený v roku 1901) a veľký (r. 1904) *Zöllnerov fotometer* na me-

ranie jasnosti hviezd, veľký UV (ultrafialový) spektrograf, 152 mm Zeissov objektív na fotografovanie hviezd a neskôr (v roku 1908) aj jeden veľký 8-palcový (200 mm) Heydeho refraktor s kompletným vybavením.

Didaktické observatórium

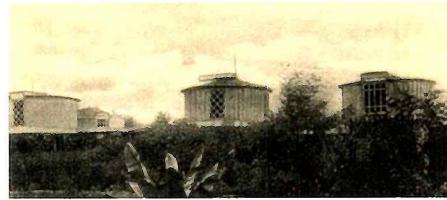
Pre Veľký Zöllnerov fotometer uvoľnili kupolu duplex-ďalekohľadu. Tento vzácný prístroj, akým bolo na svete hľadom 6 kusov, bol odvtedy neustále v prevádzke. Duplex-ďalekohľad tak išiel na „dočasné odpočinok“ do rotundy pod kupolou veľkého ďalekohľadu.

Pre ostatné prístroje sa postavili menšie drevené budovy s bubnovými kupolami v blízkosti už vyššie spomenutých dvoch drevených pavilónov pri južnom okraji parku. Postupne tak vznikol, izolované od hlavnej budovy, samostatný komplex drevených domčekov s piatimi bubnovými kupolami, tzv. *didaktické observatórium*, vybavené menšími prístrojmi. Tie slúžili skôr na astrometrické ako astrofyzikálne účely (okrem fotoheliografu v západnej kupole hlavnej budovy), pomocou ktorých sa študenti oboznamovali so základmi astronomických pozorovaní.

Hlavnou budovou didaktického observatória bola malá americká hvezdáreň s dvomi kupolami. Vo východnej bol spočiatku 120/1800mm *Merzov refraktor*, ktorý v lete roku 1911 nahradil 130 mm *Merzov-Konkolyko refraktor*, vyrobený v dielni observatória. V západnej kupole bol od roku 1906 postavený na paralaktickej montáži *Veľký 135 mm fotoheliograf*. Vyrobil ho Konkoly, aby ním nahradil starý, už nevyhovujúci prístroj. Spočiatku slúžil len na astrofyzikálne účely. Neskôr ho Konkoly prebudoval tak, aby s ním mohli študenti slnečné škvry nielen fotografovať, ale aj priamo pozorovať.

V strednej časti budovy sa nachádzala pasážniková miestnosť s dvomi otvormi. Pod nimi boli na samostatných pilieroch postavené už spominaný *pasážnik* a starý *meridiánov kruh*. Popri hlavnej budove boli na didaktické účely zariadené ďalšie tri menšie domčeky s otáčavými bubnovými kupolami, zoradené vedľa seba v blízkosti americkej hvezdárne. Dve krajné boli postavené v lete roku 1905. V západnej kupole bol umiestnený už spomenný veľký *Breithauptov teodolit*. Vo východnej kupole umiestnili Konkoly v roku 1876 vyrobený a v roku 1905 celkom prebudovaný „Universal“ teodolit pre menej skúsených pozorovateľov. V strednej, starej a menšej kupole dostał miesto *Mayersteinov teodolit* vybavený štyrmi mikroskopmi. Medzi kupolami boli ešte k dispozícii dva kamenné piliere pre štvrtý *Lamontov teodolit*, prípadne pre ďalší kvadrant alebo sextant.

Na účely fotografickej fotometrie bol najprv v roku 1905 namontovaný na veľký 10-palcový ďalekohľad jeden 6-palcový (150/2250 mm) fotografický ďalekohľad, tzv. *astograf*. Keď však v roku 1907 prieponík novej metódy Schwarzschild požiadal hurbanovské observatórium o spoluprácu na zhotive-

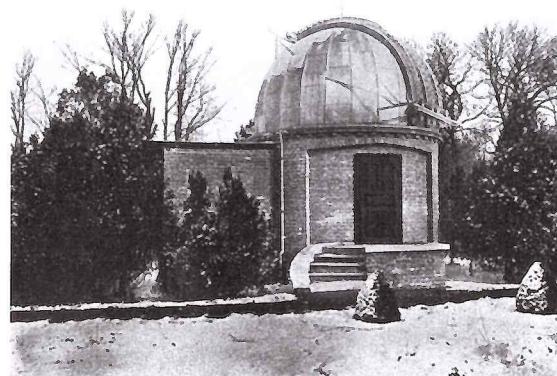


Súčasťou didaktického observatória boli aj tri menšie bubnové kupoly, ktoré stáli vedľa seba v blízkosti americkej hvezdárne.

nie ním už začatého katalógu fotografických magnitúd, objednala hvezdáreň u dráždanskej firmy Heyde 8-palcový ďalekohľad spolu so Schwarzschildovou pohyblivou kamerou a Hartmannovým mikrofotometrom. Pre Heyde ďalekohľad sa postavila samostatná budova s dvomi miestnosťami. Novú päťmetrovú kupolu železnej konštrukcie položili na murovanú okrúhlu vežu s vnútorným priemerom 4,4 m. Vedú z nej dvere do vedľajšej miestnosti s oknom z červeného skla, aby sa tu dali rýchlo a bezpečne vymieňať fotografické platne. Celý tento komplex budov s jednáimi kupolami vytváral tzv. *astrofyzikálne observatórium*, jednu z dvoch hurbanovských vedeckých inštitúcií, ktorých riaditeľom bol Dr. Mikuláš Thege Konkoly. Jej oficiálny názov bol Královské uhorské astrofyzikálne observatórium, základina Mikuláša Thege Konkolyho, a patrilo pod správu ministerstva náboženstva a školstva. Druhou inštitúciou bolo *meteorologické observatórium* s oficiálnym názvom Královské uhorské meteorologické a geomagnetické observatórium a patrilo pod ministerstvo poľnohospodárstva.

Samotné astrofyzikálne observatórium sa potom delilo na dve časti, a to na hlavnú inštitúciu zaobrájúcu sa vyslovene astrofyzikálnym výskumom a na didaktické observatórium. Meteorologické observatórium sa tiež delilo na dve časti: na čisto meteorologické observatórium a na geofyzikálne observatórium, ktoré malo tri oddelenia: geomagnetické, seizmické a oddelenie elektriny atmosféry. Astrofyzikálne, didaktické a geofyzikálne observatória sa nachádzali v Konkolyho parku, meteorologické observatórium, seizmický pavilón a pavilóny elektriny atmosféry zase v tzv. meteorologickej záhrade.

Ladislav Pastorek, SÚH Hurbanovo



Budova Hyde ďalekohľadu s päťmetrovou kupolou so železou konštrukciou.

Začína sa obnovovať ozónová vrstva Zeme?

Koncentrácia chemických látok najviac poškodzujúcich ozónosféru Zeme kulminovala vo vzduchu v 90-tych rokoch a odvtedy klesá. Je to výsledok jednej z najúspešnejších globálnych akcií zameraných na odvrátenie nepriaznivého vplyvu ľudskej činnosti na zloženie atmosféry Zeme.

V roku 1985 sa v rámci Viedenskej konvencie o ochrane ozónovej vrstvy Zeme štaty dohodli na globálnom obmedzení výroby látok poškodzujúcich stratosférický ozón. Toto obmedzenie upravovalo Montrealský protokol, ktorý vstúpil do platnosti v roku 1987, a jeho ďalšie dodatky. Montrealský protokol prijali všetky štaty združené v OSN. Zabránenie rozsiahlemu poškodeniu ozónosféry má ďalekosiahly význam. Bez toho by sme dnes pravdepodobne čeliли vplyvu zvýšenej úrovne slnečného ultrafialového žiarenia, ktoré je atmosférickým ozónom absorbované, so všetkými jeho nepriaznivými účinkami na človeka a ďalšie organizmy.

Počas viac ako dvadsiatich rokov od začiatku poklesu koncentrácie chemikálií poškodzujúcich ozón sa vedci stále snažia nájsť v meraniach vertikálnych profilov ozónu, či v časových radoch celkového ozónu (TOZ) signál obnovy ozónovej vrstvy. Hoci sa globálny pokles celkového ozónu zastavil, signál očakávaného vzostupu nie sú globálne a jednoznačné.

Môžeme vôbec hovoriť o obnove ozónosféry?

Dodržiavanie Montrealského protokolu

Koncentrácia chemikálií, ktoré najefektívnejšie prispievajú k úbytkom stratosférického ozónu ODS (Ozone Depleting Substances)

a ktorých výrobu reguluje Montrealský protokol, od polovice 90-tych rokov stále klesá. Ide o hlavné zdroje radikálov chlóru a brómu poškodzujúce ozón v stratosfére: halogenizované uhľovodíky (chlór-fluórované uhľovodíky, medzi ktoré patria aj freóny) s obsahom chlóru a fluóru (CFCs), halóny s obsahom brómu vrátane metylbromidu (CH_3Br), hydrogenizované halóny (HCFCs), tetrachlorid uhlíka (CCl_4), methyl chloroform ($\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_3$) a ďalšie.

V období 2012 – 2016 klesalo celkové množstvo chlóru z kontrolovaných látok o 12,7 ppt Cl za rok. Od r. 1993 predstavuje tento pokles asi 12 %. Rýchlosť poklesu sa však pri niektorých zlúčeninách v poslednom období spomalila. Spomalenie úbytku chlóru z látok kontrolovaných Montrealským protokolom je spôsobené čiastočne tým, že výroba týchto látok sa obmedzila natoliko výrazne, že koncentrácie začínajú výraznejšie ovplyvňovať zdroje z vyrobených zásob, prirodzené zdroje a ich variabilita, ale aj zmeny koncentrácie takých látok obsahujúcich halové prvky, ktoré Montrealský protokol neobmedzoval. Ide hlavne o látky s krátkou dobu zotrvenia v atmosfére do pol roka (VSLS – Very Short Lived Substances). Spomalenie poklesu celkovej koncentrácie CFC (halóny) však vysvetluje hlavne neočakávaný vzostup množstva niektorých druhov týchto látok vo vzduchu vyvolaný antropogénou činnosťou. V rokoch 2014 – 2016 sa namerala o 15 % viac halónu CFC-11 (CFCl_3), ako v rokoch 2002 – 2012 (obr. 1). Vo Východnej Ázii sa objavil nový, neregistrovaný zdroj tejto látky. Vystopovať krajinu vinníka je takmer nemožné.

Ďalšia neregulovaná produkcia tejto látky môže spôsobiť oneskorenie poklesu ekvivalentného množstva chlóru účinného pri deštrukcii stratosférického ozónu (EESC – Equivalent Effective Stratospheric Chlorine) v miernom pásme a v polárnych oblastiach na úroveň spred 80-tych rokov minulého storočia o 7 – 20 rokov. Rastú aj koncentrácie niektorých vzácnych halónov CFC-114 a CFC-115, ktoré sa produkujú hlavne v Číne. Emisie tetrachloridu uhlíka sú tiež výrazne vyššie, než bývali podľa registrovaných zdrojov. Pre nízku koncentráciu však posledné spomenuté látky ozón výrazne neovplyvňia.

Dodržiavanie obmedzení produkcie ODS podľa Montrealského protokolu je pre obnovu ozónosféry v najbližších rokoch klúčové. Hoci sa tieto látky dostali do vzduchu pomerne rýchlo, doba ich zotrvenia v atmosfére je veľmi dlhá (napr. doba zotrvenia zlúčeniny

CFC-12 vo vzduchu presahuje 100 rokov), pričom pokles ich množstva je troj- až štvornásobne pomalší v porovnaní so vzostupom.

Trendy ozónu

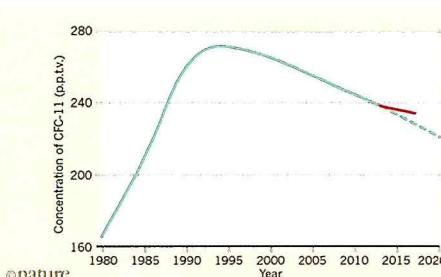
Od 60-tych rokov cca do polovice 90-tych rokov boli globálne trendy celkového ozónu klesajúce: -1,8 % za 10 rokov. Od 90-tych rokov sa ozón výrazne nemení a trend predstavuje 0,4 – 0,6 % za 10 rokov (obr. 2). Hoci Montrealským protokolom sa účinne obmedzila produkcia ODS, pokles ich koncentrácie je veľmi pomalý.

Hľadanie trendov v meraniach ozónu za posledných 20 – 30 rokov je ťažká a komplikovaná úloha. Stratosférický ozón neovplyvňuje iba koncentrácie ODS, ale aj premenlivé dynamické procesy, viaceré kváziperiodické javy (11-ročný cyklus slnečnej aktivity, oscilácie rozdielov tlaku vzduchu v rôznych častiach atmosféry) a ťažko predvídateľné sopečné erupcie, pri ktorých sa za prítomnosti ODS pozoruje výraznejší úbytok stratosférického ozónu. Ozón stále viac ovplyvňuje aj javy spojené so súčasnou klimatickou zmenu. Vzhľadom na veľkú variabilitu ozónu v niektorých oblastiach by na určenie trendov boli potrebné oveľa dlhšie časové rady. Trendy sa za štatisticky signifikantné považujú vtedy, keď aspoň dvojnásobne prevyšujú neistotu ich určenia.

Stúpajúce trendy ozónu začínajú byť významné tam, kde je množstvo ozónu ovplyvnené ODS najviac. Jednou z týchto oblastí je horná stratosféra (nad 40 km). Od roku 2000 v nej stúpla koncentrácia ozónu o 1 – 3 % (obr. 3).

V období 1980 – 1995 boli trendy celkového ozónu v Antarktíde -12 % za 10 rokov. Významnejšie vzostupné trendy ozónu sú tu v súčasnosti pozorované po skončení polárnej zimy (obr. 3), kedy sa najviac prejavuje deštruktívny vplyv ODS na ozón. Ozónové dieury (oblasti, kde TOZ klesne pod 220 Dobsonových jednotiek, niekedy aj o viac ako 70 %), ktoré sa v Antarktíde každoročne vyskytujú, sú v posledných rokoch menej výrazné a majú menší plošný rozsah. Medziročne sa však veľmi líšia pre veľkú variabilitu meteorologickej podmienok: v r. 2015 bola aj vplyvom sopečnej činnosti a silného polárneho vortextu (nízkeho tlaku vzduchu v spodnej stratosfére oblasti pôlov ohraničeného dýzovým prúdením) ozónová diera nad Antarktidou obrovská a hlboká, v roku 2017 naopak malá, pri slabom polárnom vortexe a relatívne vyšších teplotách polárnej stratosféry.

Signifikantné trendy celkového ozónu od roku 2000 v Arktíde detegované neboli ani po skončení polárnej noci. Poklesy množstva celkového ozónu sú tu na jar menej výrazné ako na južnej pologuli a predstavujú iba cca



Obr. 1 Spomalenie poklesu koncentrácie látok poškodzujúcich ozón. Závislosť koncentrácie látky poškodzujúcej ozón CFC-11 (trichlórfluórmetylán) v jednotkách pptv (parts per trillion per volume – počet molekúl danej látky na 10^{12} molekúl vzduchu) od času. Spojitá zelená čiara ukazuje vývoj do roku 2013. Prerušovaná čiara ukazuje očakávaný vývoj za predpokladu, že bude dodržaný Montrealský protokol a žiadne nové zdroje CFC-11 nevzniknú. Červená čiara ukazuje skutočný vývoj koncentrácie tejto látky po roku 2013. GRAF – NATURE

12 – 15 %. Výnimkami sú extrémne studené polárne zimy, po ktorých sa pozorujú úbytky ozónu až takmer 40 % (2010/2011). Veľká medziročná variabilita podmienok arktickej polárnej stratosféry určovanie trendov komplikuje.

Žiadne výrazné trendy vývoja TOZ neboli zistené v oblasti medzi 60° severnej a južnej zemepisnej šírky, kde sa cca od roku 1997 úbytok celkového ozónu udržiava na hodnote okolo -2 % oproti normálmu za obdobie 1960 – 1980 (obr. 3). Prírastok TOZ o 1 % za dekádu, pri poklese EESC o viac ako 15 % od r. 1997, je tu v porovnaní s medziročnou variabilitou presahujúcou 5 % nevýznamný. V spodnej stratosfére tejto oblasti sa od r. 2000 do r. 2016 zistil dokonca nevýrazný pokles koncentrácie ozónu. Variabilitu ozónu tu, v porovnaní s chemickými interakciami, výraznejšie ovplyvňuje jeho transport.

Celkový ozón v trópoch taktiež výraznejšie nereaguje na zmeny ODS. Výnimkou sú obdobia po veľkých sopečných erupciách, kedy aj tu množstvo celkového ozónu klesá pod normálne hodnoty.

Zmeny ozónu a klíma

Úbytok stratosférického ozónu vyvolaný ODS sa prejavuje ruka v ruke s poklesom teploty v tejto vrstve atmosféry. Pri rozpade molekuly ozónu absorpciou slnečného UVB žiarenia sa uvoľňuje teplo, úbytok ozónu preto súvisí s poklesom teploty v stratosfére. Obnova ozónovej vrstvy môže zmierňovať ochladzovanie, hlavne v strednej a spodnej stratosfére.

Za obdobie 1979 – 1997 je pokles teploty v stratosfére výraznejší ako v období 1998 – 2016, kedy sa celkový ozón významne nemenal. Teplota vzduchu za obdobie 1979 – 2005 v hladine 25 – 45 km klesla o 1,5 K, vo vrstve 40 – 50 km asi o 2,3 K. Iba tretina poklesu teploty v hornej stratosfére je vyvolaná úbytkom ozónu spôsobeným ODS. Ochladenie v stratosfére výraznejšie ovplyvňuje nárast koncentrácie iných skleníkových plynov v atmosfére (príčina súčasného globálneho oteplovania). Veľký podiel tepelného žiarenia vyžarovaného zemským povrchom je pohľdený skleníkovými plynmi v nižších vrstvach atmosféry (v troposfére). Zvýšené množstvo skleníkových plynov v troposfére zabráňuje

prenikaniu tepelného žiarenia do vyšších vrstiev vzduchu a výsledkom je ich ochladzovanie. Klesajúce trendy teploty sú pozorované tak v stratosfére, ako aj v mezofére.

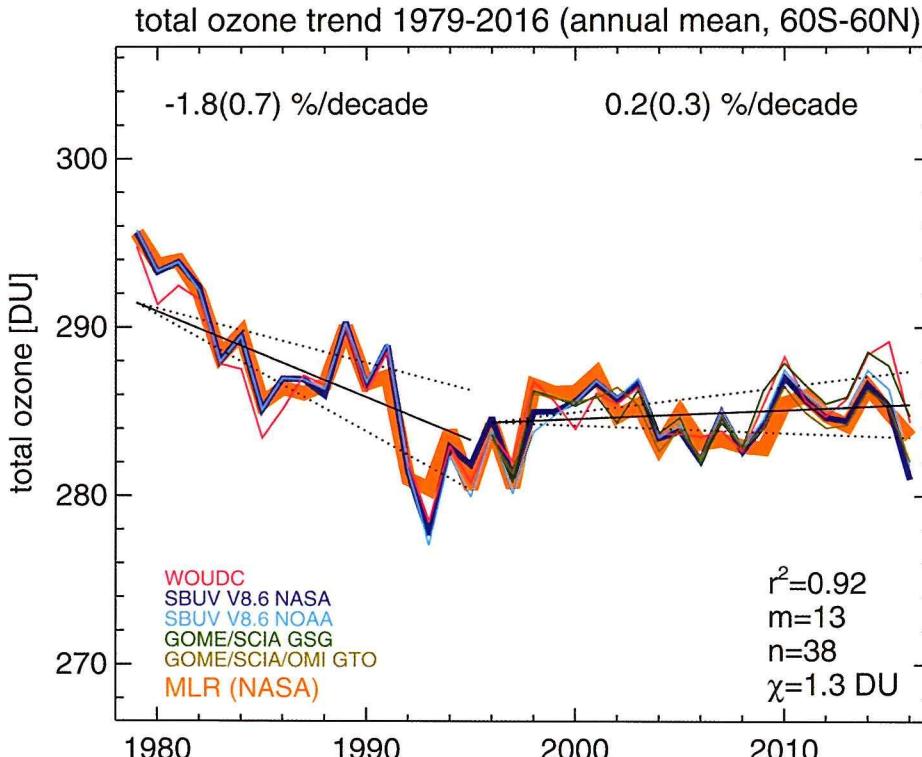
Ochladenie hornej stratosféry však priaznivo pôsobí na koncentráciu ozónu v tejto oblasti, pretože pri nižšej teplote sa spomaliuje reakcia, pri ktorej zaniká molekula ozónu zlúčením s atómom kyslíka $O + O_3 \rightarrow 2O_2$. V porovnaní so spodnou stratosférou je však ozónu v hornej stratosfére príliš málo na to, aby sa jeho prírastok v tejto vrstve výrazne prejavil v trendoch TOZ.

Zmeny množstva stratosférického ozónu ovplyvnili a ovplyvňujú aj dianie pri zemskom povrchu. Posledná správa o stave ozónovej vrstvy Zeme z r. 2018 uvádzá, že ochladenie spodnej stratosféry spôsobené úbytkom ozónu je hlavnou príčinou zmien klímy v lete v druhej polovici 20. storočia na južnej pologuli. Tieto zmeny sa prejavujú posunom cirkuľačných systémov z vyšších zemepisných šírok k južnému pólu a príspevkom k rastu teploty mora v tejto oblasti. Vplyv na zmeny v zaľadnení sa nepovažuje za významný.

Montrealským protokolom bola zakázaná výroba látok CFC, ktoré sa používali hlavne ako chladiacie médiá v klimatizačných jednotkách a chladničkách, alebo ako hnacie látky v sprejoch. Mnohé z nich boli zároveň účinnými skleníkovými plynmi (GHG – GreenHouse Gases). Predpokladá sa, že obmedzenie látok poškodzujúcich ozón, ktoré sú zároveň skleníkové plyn, prispelo k tomu, že súčasná hladina mora je o niekoľko cm nižšie než by bola bez týchto obmedzení. CFC sa nahradili inými zlúčeninami, ktoré súce stratosférický ozón nepoškodzujú výrazne, ale zaradujú sa taktiež medzi účinné skleníkové plyn. Jedná sa o niektoré zlúčeniny HFC (fluorované uhľovodíky) a HCFC. Koncentrácia týchto látok vo vzduchu rastie. Za obdobie 2012 – 2016 koncentrácia HCFC vo vzduchu vzrástla o 5,9 ppt (čo je spomalenie oproti vzostupu 9,2 ppt za obdobie 2008 – 2012). Koncentrácia HFC vzrástla až o 23 %. Radiačný účinok týchto látok na globálnu klímu je za posledných 20 rokov stabilný a v r. 2016 predstavoval $0,33 \text{ W m}^{-2}$. Pre zabranenie vzostupu globálnej teploty o viac ako 2°C podľa Parížskej dohody (2015) sa dodatkom Montrealského protokolu z Kigali (2016) bude výroba HFC obmedzovať od roku 2019. HFC s veľkým skleníkovým efektom by sa mali nahrádzať podobnými látkami, ale s menším účinkom na globálne oteplovanie. Do r. 2100 by mal ich príspevok k rastu globálnej teploty klesnúť zo súčasných $0,2 - 0,4^{\circ}\text{C}$ na $0,1^{\circ}\text{C}$.

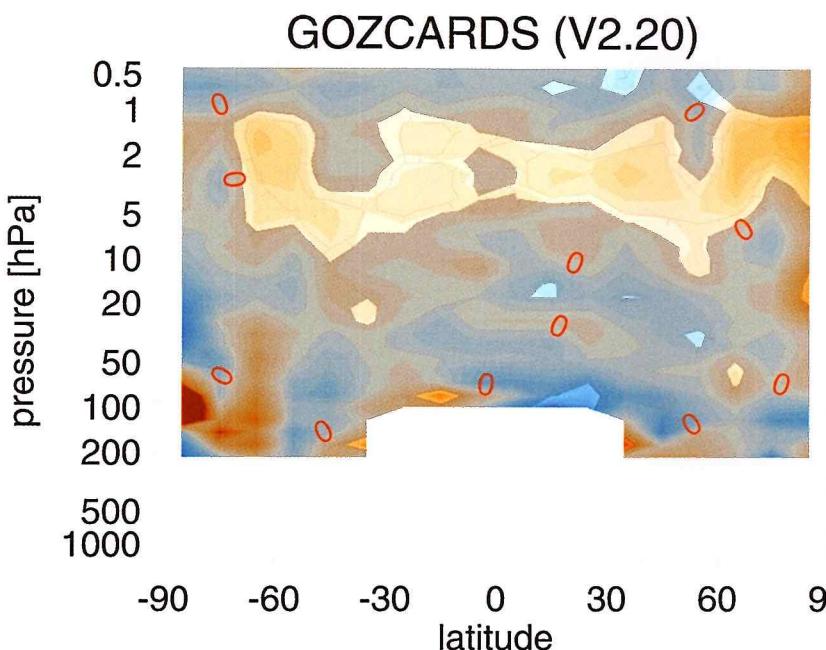
Zmeny klímy a ozón

Súčasné zmeny klímy spôsobené vzostupom koncentrácie skleníkových plynov, najmä oxudu uhličitého CO_2 , ale aj metánu CH_4 , či oxudu dusného N_2O ovplyvňujú aj stratosférický, prízemný a celkový ozón. Niektoré skleníkové plynov ovplyvňujú stratosférický ozón priamo vstupom do cyklov chemických reakcií s ozónom (hlavne CH_4 prostredníctvom cyklov reakcií s radikálom HOx v spodnej stratosfére a N_2O , v cykloch reakcií s radikálom NOx, ktorý spôsobuje destrukciu ozónu v hornej



Obr. 2 Priemerný ročný TOZ ako funkcia času pre oblasť medzi 60° severnej a južnej zemepisnej šírky pre 5 skupín dátových údajov. Svetové zónové a UV dátové centrum WMO v Toronte (WOUDC) spracovalo údaje z pozemných meraní Dobsonových a Brewerových spektrofotometrov a filtrových rádiometrov. Satelitné dátá z prístroja SBUV (Solar Backscatter Ultraviolet radiometer, verzia 8.6) z NASA a NOAA predstavujú spojené súbory meraní aj z prístroja SBUV/2 od r. 1978. GSG (GOME-SCIAMACHY-GOME-2) a GTO (GOME type Total Ozone) predstavujú spojené údaje z rôznych prístrojov na satelitoch používaných v rámci týchto projektov: z experimentu GOME (Global Ozone Monitoring Experiment), SCIAMACHY (SCanning Imaging Absorption SpectroMeter for Atmospheric CHartographY) a GOME-2 od roku 1996. GTO okrem toho zahrňa aj dátá z prístroja OMI (Ozone Monitoring Instrument) na rôznych družiciach. Dáta, ktoré by reprezentovali skutočne globálny ozón nie sú k dispozícii, pretože v zime v oblasti zemepisnej šírky nad 60° nie je na meranie možné využiť snehové žiarenie prechádzajúce atmosférou. Hrubá oranžová čiara a čierne trendové čiary predstavujú výsledky viacnásobnej lineárnej regresie (MLR) údajov SBUV V8.6 NASA (MLR NASA). Osobitne sú zobrazené lineárne trendy pred a po začiatku poklesu stratosférického chlóru a brómu v strede až koncom 90-tych rokov. Výsledné trendové čiary presne nezodpovedajú numericky určeným trendom a ich neistočí v hornej časti grafu. GRAF: WEBER A KOL., 2018

ozone trend 2000 to 2016 [%/dec]



Obr. 3 Trendy ozónu v % za 10 rokov od r. 2000 do r. 2016 v priereze zemepisná šírka (latitude)/výška (altitude)/tlak vzduchu (pressure). Trendy sú určené pomocou viacnásobnej lineárnej regresie použitím meraní z viacerých satelítov GOZCARDS v.2.20 (the Global OZone Chemistry And Related trace gas Data records for the Stratosphere). Trendy sú uvedené podľa legendy, červená izočiara reprezentuje trend 0 % za 10 rokov. Čierne izočiary a sivé odtiene predstavujú podiel medzi trendom a jeho neistotou. V oblastiach so sivým odtieňom je trend menší ako dvojnásobok jeho neistoty a nie je signifikantný aspoň na hladine významnosti 95 %. Čierna čiara v oblastiach bez sivých odtieňov vyznačuje oblasti, kde trend aspoň trojnásobne presahuje svoju neistotu a je teda určený na hladine významnosti 99 %. ZDROJ – STEINBRECHTA KOL. (2017)

stratosfére). Vzostup GHG ovplyvňuje ozón aj nepriamo, ochladzovaním stratosféry a mezosféry a tiež vyvolaním zmien v cirkulácii vzduchu v troposfére a najmä v stratosfére. Predpokladá sa, že súčasná klimatická zmena spôsobí v niektorých oblastiach vzostup koncentrácie prízemného ozónu, ktorý môže maskovať oneskorený nástup obnovy, alebo dokonca slabý pokles množstva ozónu v spodnej stratosfére mierného pásma.

Účinky vzostupu GHG v troposfére na ozón sú často protichodné. Kým ochladenie v hornej stratosfére prispieva prostredníctvom spomalenia rozpadu molekuly ozónu k zvýšeniu jeho koncentrácie a teda k zmierneniu vplyvu ODS na ozón, v spodnej polárnej stratosfére nízke teploty predstavujú dobré podmienky pre tvorbu polárnych stratosférických oblakov (PSC). V nich po skončení polárnej noci prebiehajú za prítomnosti ODS heterogénne chemické reakcie vedúce k rýchlym úbytkom ozónu, ktoré pri nízkych teplotách podporuje aj denitrifikácia PSC (pozri Kozmos 12/2006 a 1/2007: *Kyslik, ktorý robí problémy*). Práve v Arktickej polárnej stratosfére ochladzovanie spôsobuje to, že od roku 2005 tu začiatkom každej zimy klesá teplota pod kritickú hodnotu, pri ktorej vznikajú polárne stratosférické oblaky. Dovtedy bol v tejto oblasti v decembri a v januári typický výskyt krátkodobých oteplení, ktoré zabráňovali vytvoreniu extrémne studenej polárnej vzduchovej

hmoty uzavretej v silnom polárnom vortexe. Po extrémne chladných stratosférických zimách sa v Arktíde na jar pozorujú epizódy s veľmi nízkymi hodnotami celkového ozónu. Po zime 2010/2011 pretrvával silný studený polárny vortex až do marca, čo viedlo k veľkým úbytkom ozónu do 40% (pozri Kozmos 4/2012: *Prvá arktická ozónová diera?*). Stratosférické polárne vzduchové hmoty chudobné na ozón potom prenikali do nižších zemepisných šírok a aj na Slovensku bol v roku 2011 nameraný rekordne nízky ročný celkový ozón (v ročnom priemere bolo ozónu o 6,5% menej, v apríli 2011 v priemere až o 15% menej oproti normálmu za obdobie 1962 – 1990). Počas studenej arktickej stratosféricej zimy 2016/2017 sa vytvárala ešte chladnejšia stratosférická vzduchová hmota, ktorá bola uzavretá polárnym vortexom najsilnejším od roku 1968. Náhle oteplenie koncom zimy a narušenie vortexu naštastie spôsobilo, že sa na jar pozorovali o niečo menšie úbytky celkového ozónu ako v roku 2011, iba okolo 27%. Predpokladá sa, že počas prítomnosti ODS v polárnej stratosfére a v čase pretrvávajúceho poklesu teploty v spodnej polárnej stratosfére cca 0,4 K/10 rokov sa takéto epizodické rýchne poklesy TOZ môžu zopakovať, čo môže obnovu ozónosféry v tejto oblasti oddialiť. Ďalším prejavom súčasnej globálnej zmeny klímy v stratosfére je postupné zosilnenie transportu vzduchu z tropickej do polárnej strato-

sféry v zime. Počas tohto transportu vzduch z tropickej troposféry vystupuje do spodnej a ďalej do vrchnej stratosféry, obohacuje sa ozónom a pomaly prúdi smerom k pólom, kde zosadá. Intenzívnejší je transport od rovníka k pólu zimnej pologule. Výsledkom je typické globálne rozloženie ozónu s maximom v polárnych oblastiach a minimom v trópoch. Táto veľkoškálová stratosférická cirkulácia vzduchu sa nazýva Brewerovsko-Dobsonovskou (BDC). Zosilnenie BDC znamená zvýšený transport ozónu k pólom, čo priaznivo ovplyvní obnovu ozónovej vrstvy v polárnych oblastiach a v miernom pásme, avšak v trópoch spôsobí mierny úbytok ozónu, hlavne v spodnej stratosfére.

Naopak, postupné topenie polárneho ľadu spôsobí zosilnenie polárneho stratosférického vortextu, ktorý bude menej narušený troposférickými planetárnymi vlnami a prinesie ďalšie ochladenie polárnej spodnej stratosféry a úbytok ozónu okolo pólov.

Vývoj do roku 2100

Aktuálne zmeny množstva ozónu sú porovnávané s výsledkami chemicko-klimatických modelov. Tieto modely sa používajú aj na odhad vývoja ozónovej vrstvy v budúcnosti. Pri modelovaní zmen množstva ozónu sa obyčajne predpokladá dodržiavanie Montrealského protokolu. Pretože množstvo ozónu okrem ODS ovplyvňuje aj obsah skleníkových plynov v troposfére, ktorých budúci vývoj je nejednoznačný, používajú sa rôzne scenáre ich vývoja RCP (Representative Concentration Pathways) a tiež rôzne scenáre socioekonomickej vývoja spoločnosti. RCP2.6 predpokladá kulmináciu GHG v troposfére okolo roku 2030, s ich radiačným účinkom v roku 2100 2,5 W m⁻². Pri RCP8.5 sa GHG výrazne neobmedzujú a ich radiačný účinok na klímu v r. 2100 je 8,5 W m⁻².

Modelové simulácie ukazujú, že ODS budú mať na koncentrácii ozónu mimo Antarktídu dominantný vplyv asi do roku 2050. Potom, ak sa dodrží Montrealský protokol, bude ozón ovplyvňovaný skôr vývojom koncentrácie GHG, priamo chemicky alebo nepriamo, prostredníctvom zmien cirkulácie atmosféry. Modely potvrdzujú, že celkový ozón v Antarktíde reaguje hlavne na zmeny ODS, menej na zmeny obsahu GHG, a to až do roku 2100. Celkový ozón by sa tu na jar mohol vrátiť na hodnoty merané v 80-tych rokoch okolo roku 2060, na hodnoty zo 60-tych rokow minulého storočia až okolo roku 2100. Od roku 2060 by sa v Antarktíde po skončení polárnej noci mali postupne prestať vytvárať ozónové diery. Jarné hodnoty celkového ozónu v Arktíde a celkový ozón v miernom pásme severnej pologule by sa mohli priblížiť hodnotám meraným v 80-tych rokoch už okolo roku 2030. Obnova ozónovej vrstvy je tu však silno ovplyvnená antropogénnymi zmenami klímy a môžu ju oneskoríť epizódy s výrazným úbytkom ozónu po skončení extrémne studených polárnych zím.

Okolo roku 2100 sa predpokladá mierny pokles celkového ozónu iba v tropickej oblasti, v sade inde by sa mala prejaviť obnova ozónovej vrstvy. V trópoch sa očakáva úbytok ozónu.

nu v spodnej stratosfére vyvolaný zosilneným transportom do hornej stratosféry, kde bude ozónu viac, čo však nedokáže kompenzovať úbytok v spodnej stratosfére. Pre presnejšie odhady vývoja celkového ozónu v tejto oblasti bude potrebné spresniť odhad budúceho vývoja prízemného ozónu.

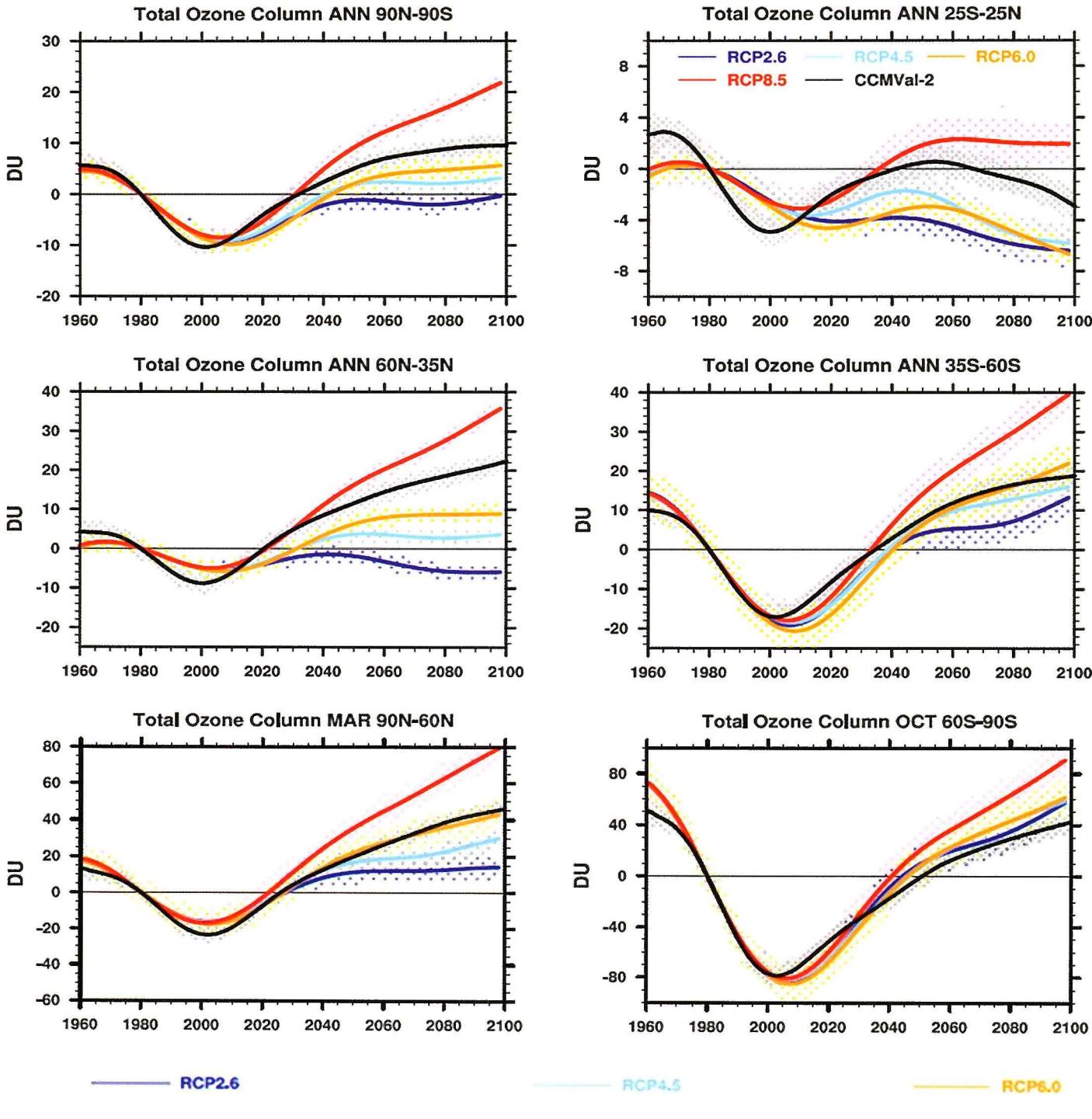
Záver

Ďalší vývoj ozónovej vrstvy závisí od dodržia-

vania obmedzení produkcie látok poškodzujujúcich ozón vyplývajúceho z Montrealského protokolu a jeho dodatkov. Návrat k scenáru obmedzovania koncentrácie CFC-11 podľa tohto protokolu je pre obnovu ozónosféry v blízkej budúcnosti zásadný. Žiadne z ďalších navrhovaných opatrení na redukciu ODS a ďalších zdrojov chlóru, iných halových prvkov a N_2O nemá taký význam. Odhady vývoja ozónosféry v druhej polovici tohto storočia

výrazne závisia aj od toho, ako sa ľudstvo postaví k obmedzeniu produkcie skleníkových plynov. Či už je potrebný neustály monitoring ozónu aj chemických látok, ktoré ho poškodzujú. Modelové simulácie však naznačujú, že v roku 2100 si ľudstvo možno bude môcť povedať, že zvládlo jeden z najväčších environmentálnych problémov, ktorý na Zemi samo spôsobilo.

Anna Pribullová



Obr. 4 Modelované časové rady odchýlok ročného TOZ od TOZ v roku 1980 v období 1960 – 2100 v Dobsonových jednotkách (DU). Farebnými čiarami je zobrazený vývoj ozónu pre viacmodelový priemer výstupov modelu s interaktívnym chemizmom CMIP5 pre rôzne scenáre vývoja koncentrácie skleníkových plynov v budúcnosti RCP: RCP2.6 – modrá, RCP4.5 – svetlomodrá, RCP6.0 – oranžová a RCP8.5 – červená. Čierna čiara predstavuje viacmodelový priemer z modelu CCMVal-2. Všetky časové rady prechádzajú v r. 1980 hodnotou 0 DU. Bodkované oblasti v príslušných farbách vyjadrujú 95-percentný interval významnosti pre viacmodelové simulácie. GRAFY: EYRING A KOL., 2013

Dve percentá pre astronómiu

Väčšine čitateľov Kozmosu nie je potrebne Slovenský zväz astronómov (SZA) predstavovať. Jeho poslaním je spájať ľudí, astronómov amatérov, ale i profesionálov na Slovensku, teda všetkých, ktorým učarovala krása nočnej oblohy. Na to, aby si mohli navzájom pomáhať, zdieľať skúsenosti, stretávať sa a vymieňať vedomosti z rôznych oblastí astronómie, zväz organizuje mnohé odborné prednášky a semináre alebo spolupracuje pri ich poriadaní. Stredobodom jeho záujmu je však verejnosť, pre ktorú usporadúva mnoho podujatí i pozorovaní oblohy.

Medzi najdôležitejšie poslania SZA patrí popularizácia astronómie nielen pre verejnosť, ale aj pre mládež na školách, kde je astronómie čoraz menej. Každý rok prebiehajú súťaže na rôznych stupňoch odbornosti, výstavy, prednášky, exkurzie a ďalšie podujatia. K tým najvýznamnejším celoslovenským patria každoročné Dni hvezdárni a planetárií, fotosúťaž „Svieťme si na cestu...nie na hviezdy“, Slovenská amatérska obloha, pozorovania oblohy a meteorických rojov pre verejnosť vo hvezdárňach a ďalšie. O mnohých zaujímavých javoch sa verejnosť dozvedá prostredníctvom tlačových správ SZA alebo priamo z televízie, kde vystupujú členovia nášho zväzu.

Astronómia prináša cenné vedecké informácie o vesmíre, čím nám ho takpovediac

približuje na dosah, no v skutočnosti sa nám vesmír stále vzdialuje, lebo ľudia toho na presvetlenej oblohe vidia čoraz menej. Ak by sme však prestali hľať na oblohu, stratili by sme predstavu o našom mieste vo vesmíre, a teda aj podstatu toho, čo nás robí ľuďmi. SZA sa zrejme najviac zviditeľnil práve úsilím o zachovanie tmavej nočnej oblohy, aby sme pri pohľade na ňu mohli nielen vidieť materiálne objekty, ale aj vnímať krásu a nekonečnosť vesmíru. Svetelné znečistenie nad obývanými oblasťami našej Zeme je naozaj vážnym problémom dnešnej doby a je to práve SZA, ktorý sa ním zaoberá; naznamenáva také úspechy, ako je založenie už troch parkov tmavej oblohy na Slovensku.

Bolužiať, astronómia na Slovensku roz hodne nepatrí medzi finančne preferované oblasti. Činnosti a podujatia SZA nesú na pleciach väčšinou neprofesionálni astronómovia a nadšenci, ktorí do slovenskej astronómie a jej popularizácie investujú nielen svoj voľný čas, ale aj peniaze. Lebo všetko niečo stojí. Naštaste každý z nás, nech už je zamestnanec, živnostník alebo právnická osoba, má možnosť presne určiť, kam pôjde aspoň malá, dvojpercentná časť dane a určiť účel, na ktorý sa naše peniaze použijú.

Chceli by ste podporiť činnosti SZA aj v roku 2019? Nejde o nič zložité, stačí pre daňový úrad vyplniť príslušné formuláre na poukázanie 2 %. Tu sú potrebné údaje:

Meno: Slovenský zväz astronómov

IČO: 00470503

Právna forma: občianske združenie

Sídlo: Tomášovská 63, 979 01 Rimavská Sobota

Cílos účtu: SK16 5200 0000 0000 0571 6075



Dakujeme za vašu podporu a veríme, že vám prinesie zážitky z prednášok a pozorovaní úžasného, často bizarného sveta nad našimi hlavami. Viac informácií a podrobností o aktivitách SZA nájdete na našich stránkach www.szaa.org.

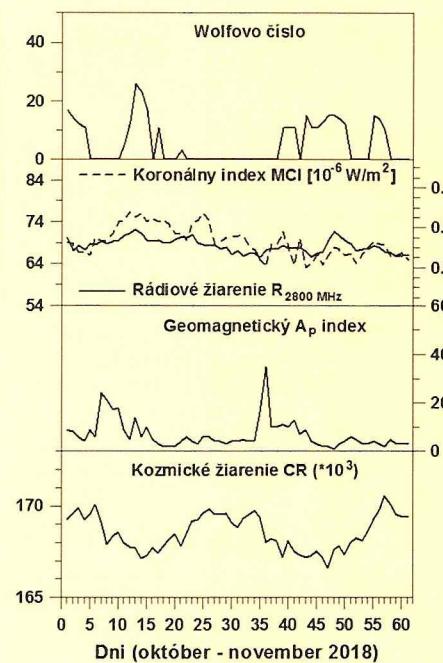
Rada SZA

ASTROOBCHOD.sk

Pohlédněte do hlubin vesmíru
vlastním dalekohledem!



ASTROOBCHOD.cz



Slnečná aktivita

Slnečná aktivita (SA) bola približne na rovnakej úrovni ako v predchádzajúcim dvojmesačnom období. Wolfovo číslo slnečných škvŕň sa v októbri pohybovalo v rozmedzí 0 – 26, v septembri len v rozmedzí 0 – 15. Za dva mesiace sme naznamenali spolu 36 dní bez škvŕny na disku Slnka (pre porovnanie, v rovnakom období roku 2017 bolo 35 takýchto dní). V erupčnej aktivite nebola zaregistrovaná žiadna erupcia úrovne C. V geomagnetickej aktivite sme naznamenali dvakrát (7. – 8. októbra a 5. novembra) výraznejšie zvýšené hodnoty planetárneho A_p indexu (>20). V celom období však bola hodnota tohto indexu až počas 48 dní nižšia ako 10. Zvýšenú hodnotu A_p indexu spôsobili zrejme v obidvoch prípadoch koronálne diery na Slnku, z ktorých uniká vysokorychlosťný slnečný vietor. Úroveň kozmického žiarenia sa v porovnaní s predchádzajúcim obdobím nepatrne zvýšila. Slnko je silným zdrojom rádiového žiarenia, a čiastočne aj preto je náročné určiť jeho teplotu a jas. J. Kallunki a M. Tornikoski z Rádioastronomického observatória Metsähovi v Kylmälä vo Fínsku publikovali v novembrovom čísle *Solar Physics* výsledky určenia teploty jasu zodpovedajúcej úrovni rádiového žiarenia kľudného Slnka (quiet-Sun level – QSL) na základe pozorovaní v období minima SA na vlnovej dĺžke 8 mm pomocou 14 metrového rádioteleskopu. Ako kalibráčny zdroj rádiového žiarenia použili Mesiac v nove. Na základe takto vykonaných pozorovaní zistili strednú hodnotu $8100 \text{ K} \pm 300 \text{ K}$ pre teplotu QSL. Emisia na vlnovej dĺžke 8 mm pochádza z hornej chromosféry, ktorá je teplejšia ako fotosféra Slnka. Pre všetky ostatné slnečné javy (napr. rádiové zjasnenia) môže byť použitá táto hodnota na diagnostiku ich teploty rádiového jasu.

Ivan Dorotovič

ASTROFILM 2018 tradične v Piešťanoch

V dňoch 9. – 11. októbra, už tradične v priestoroch KSC Fontána v Piešťanoch, sa uskutočnil 12. ročník medzinárodného filmového festivalu Astrofilm. Bol venovaný téme spolupráce Česka a Slovenska v oblasti astronómie pri príležitosti 100. výročia založenia ČSR.

Návštěvníkov, ktorí prišli na Astrofilm prvý raz – a rovnako tak aj nás – potešilo stretnutie s tými, pre ktorých je jeho názov dôverne známy a svojim zameraním na astronómiu lákadlo, kvôli ktorému prichádzajú do Piešťan každoročne.

Nebeské symfónie Petra Horálka

V utorok 9. októbra hned' na úvod čakali návštěvníkov „Nebeské symfónie“. Bol to názov výstavy fotografií českého astrofotografa, popularizátora astronómie Petra Horálka. Jej vernisáž bola úvodným bodom programu festivalu. Výstava dostala názov podľa rovnomennej knihy, z ktorej tieto fotografie pochádzajú. Zachytené miesta a objekty sa nachádzajú nielen v zahraničí, ale aj v Čechách a na Slovensku, pričom k nim má autor rovnako blízko, keďže má svoje korene v oboch krajinách. Každá fotografia má svoju história. A nie je to len téma technického spracovania, ale aj myšlienka, ktorá viedla k jej vytvoreniu, okolnosti súvisiace s jej vytvorením a v niektorých prípadoch aj príbeh fotografie po zverejnení. V nasledujúci deň festivalu o tom Petr Horálek porozprával v jeho prezentácii „Kdyby fotografie mohli vyprávět“. Týmto rozpravaním sa stali jeho fotografie pre ich obdivovateľov bližšími, pretože už nevideli iba obraz zachytený na snímke, ale stali sa akoby priamy účastníkmi ich zrodu a života.

Svetlé miesto Dušana Trančíka

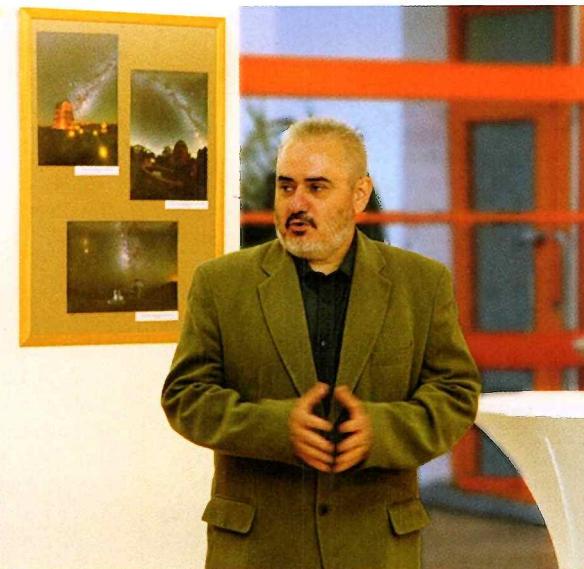
Festival svojimi príhovormi otvorili generálny riaditeľ Slovenskej ústrednej hvezdárne v Hurbanove Marián Vidovenec a riaditeľka MsKS Piešťany Marta Jurčová. Po slávnostnom otvorení nasledoval krátky príhovor režiséra Dušana Trančíka, v ktorom krátko uviedol svoj film „Svetlé miesto“. Vo filme di-

vákom sprostredkoval pohľad na ľudí, miesta a udalosti, odohrávajúce sa na moravsko-slovenskom pomedzí od začiatku 20. storočia až po súčasnosť, vykreslujúc vzájomný vzťah medzi českým a slovenským národom, ktoré si vytvárali cestu k sebe v časoch pred a aj po vytvorení spoločného štátu. V závere filmu režisér prináša pohľad na vzťah medzi oboma národomi, ktorý zostal v obojstrannej náklonnosti aj po rozdelení na dva samostatné štáty.

Beseda nasledujúca po filme priblížila návštěvníkom festivalu vzájomnú spoluprácu na poli astronómie. Históriu hvezdárne v Hurbanove, s historickým názvom Stará Ďala, v období 1. ČSR predstavil Marián Vidovenec. Riaditeľmi starodálskej hvezdárne v 20. a 30. rokoch dvadsiateho storočia boli odborníci z Česka, ktorí svojou prácou prispeli nielen k jej zachovaniu, ale aj k ďalšiemu rozvoju. Riaditeľ Astronomického ústavu SAV Martin Vaňko svojim príspevkom priblížil história observatória na Skalnatom plese, o ktorého vybudovanie sa zaslúžil jej prvý riaditeľ český astronom Antonín Bečvář. Ďalšími besedujúcimi boli predsedu Slovenskej astronomickej spoločnosti pri SAV Ladislav Hric a Eugen Gindl, šéfredaktor časopisu Kozmos, ktorí prispeli do diskusie rozprávaním o Slovenskej astronomickej spoločnosti.

Zábavná fyzika a laserová show

Dopoludnie v stredu 10. októbra patrilo kúzelnnej fyzike a žiakom základných a stredných škôl. Popularizátor fyziky Michal Figura v rámci svojho programu predstavil využitie fyziky v každodennom živote zábavným a zároveň poučným spôsobom, ktorý zanechal v publiku pozitívnu správu, že učenie sa môže byť to isté ako hra.



Astrofilm 2018 slávnostne otvoril Mgr. Marián Vidovenec, generálny riaditeľ Slovenskej ústrednej hvezdárne v Hurbanove.

Pri popularizácii astronómie zohrávajú významnú úlohu planetáriá. Tejto téme sa v stredu popoludní venoval Marián Vidovenec, ktorý vo svojej prezentácii priblížil vznik a vývoj planetárií od čias staroveku až po súčasnosť. Techniku planetárií, rôzne spôsoby ich využitia a aj prácu v planetáriu prezentoval Tomáš Dobrovodský z Krajskej hvezdárne a planetária Maximiliána Hella v Žiari nad Hronom. Pretože je lepšie jedenkrát viďť ako tisíckrát počuť, pracovníci Tekovskej hvezdárne v Levice predviedli krátky program v ich prenosnom planetáriu, do ktorého mohli vstúpiť návštěvníci festivalu priamo v kinosále KSC Fontána.

Program stredajšieho večera vyvrcholil príspevkom firmy Kvant, s. r. o. – laserovou show, ktorá bola pre divákov veľkým lákadlom a významne zvýšila ich počet.

Okná Jiřího Grygara

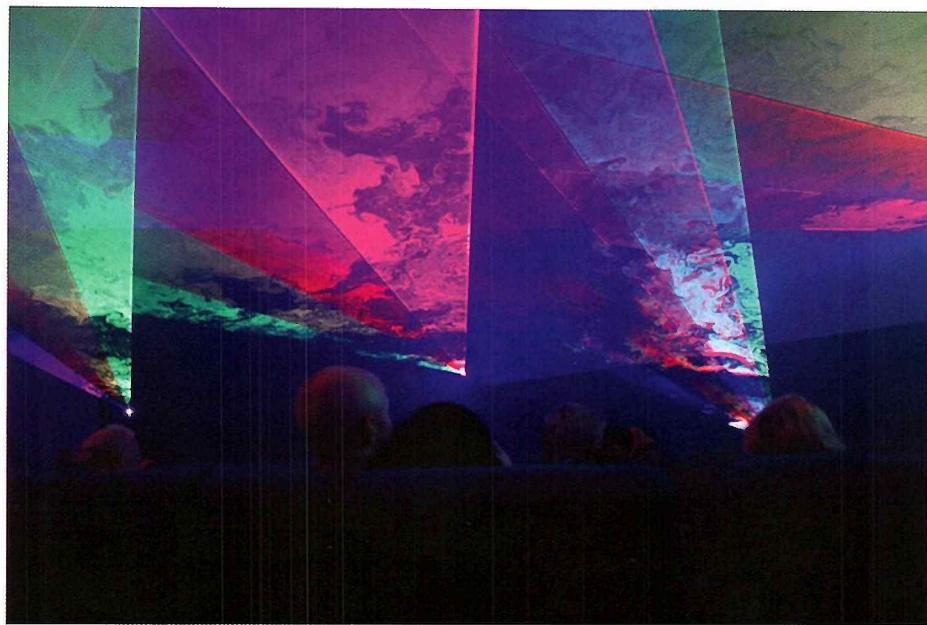
Vo štvrtok 11. októbra dopoludnia sa uskutočnila prednáška vzácnego hosta Astrofilmu, najvýznamnejšieho českého popularizá-



Diskusia za okruhlym stolom. Zľava M. Vidovenec, L. Hric, E. Gindl a M. Vaňko prezentujú históriu Astronomického ústavu SAV.



Michal Figura po svojom vystúpení s Kúzelnou fyzikou.



Laserová show v podaní firmy KVANT.

tora astronómie Jiřího Grygara. Skladala sa z dvoch častí. Obsahom prevej časti bolo poohľadnutie sa do minulosti, na tvorbu popularizačno-vzdelávacieho seriálu „Okná vesmíru dokorán“. Boli premietnuté dva diely tohto seriálu z archívu RTVS, pri ktorých J. Grygar spomína na tvorbu a spolupracovníkov, ktorí významne prispeli k úspešnosti tohto seriálu. Dielo, ktoré nemalo mať v prvotnej myšlienke dlhé trvanie, nakoniec vyráslo a vo svojej dobe sa stalo významným popularizačným nástrojom astronómie.

V druhej časti Jiří Grygar predniesol prezentáciu „Sedm splňených“ prání v rámci Slunečnej sústavy neboli Nezadržiteľný vzestup bezplotoní kosmonautiky“ so zameraním na výskum pomocou kozmických sond, ktoré nám priniesli nové poznatky napríklad pri skúmaní Pluta a jeho mesiaca Chárona, kométy 67P/Čurjumov-Gerasimenko, planétok Ceres a Vesta a ďalších.

Výročie Vladimíra Remka a návštěva Ivana Bellu

Popoludní sa program Astrofilmu niesol v znamení kozmonautiky a kozmonautov. Michal Vojsovič preniesol prezentáciu „Keď

87. znamená 1.“, o prvom československom kozmonautovi Vladimírovi Remkovi. V tomto roku sme si pripomienuli okrúhle výročia Vladimíra Remeka. Okrem jeho životného jubilea aj 40 rokov od jeho letu do vesmíru. Prvý slovenský kozmonaut Ivan Bella prišiel medzi návštěvníkov Astrofilmu osobne, aby pri tejto príležitosti porozprával o svojom lete do vesmíru. Návštěvníci festivalu si odnesli zážitok z jeho rozprávania, a aj z osobného stretnutia s ním.

Počas festivalu v stredu a vo štvrtok popoludní prebiehalo premietanie súťažných filmov. Celkovo bolo prihlásených 8 filmov. Svoje diela prihlásili Astronomický krúžok pri hvezdárni v Michalovciach, Detský filmový krúžok pri CVČ Domino v Košiciach a profesionálne produkčné spoločnosti zo zahraničia. V rámci slávnostného ukončenia festivalu vyjadril Marián Vidovenec svoju spokojnosť a vďačnosť za úspešný priebeh a stále sa zvyšujúcu úroveň festivalu, ktorá sa prejavuje okrem iného vzrastajúcim počtom návštěvníkov. Potom nasledovalo ocenenie víťazných filmov.

Cenu generálneho riaditeľa SÚH získal film „Šaliť vesmír“ od Astronomického krúžku

pri hvezdárni v Michalovciach. Divákov zaujalo aj jeho spracovanie v zemplínskom nárečí.

Cenu primátora mesta Piešťany získal film „Explore“ od spoločnosti Creative Planet.

Cena pre Pavla Rapavého a spomienka na Neila Armstronga

Tak ako v predchádzajúcom, aj v tomto ročníku sa uskutočnilo odovzdávanie „Csereho ceny Slovenskej astronomickej spoločnosti pri SAV“ za populárno-vedeckú činnosť. V tomto roku ju získal Pavol Rapavý, šéf hvezdárne v Rimavskej Sobote, čím bola ocená jeho neúnavná práca v oblasti popularizácie astronómie. Svojou ochotou a spoluprácou prispel aj k úspešnému priebehu tohto ročníka Astrofilmu, za čo mu jeho organizátori vyslovujú veľké podakovanie.

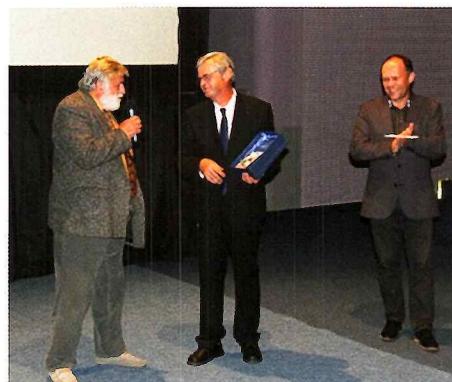
Záverečným bodom programu festivalu bola celoslovenská premiéra filmu „Prvý človek“ o Neilovi Armstrongovi, ktorý urobil prvý krok ako predstaviteľ celého ľudstva na Mesiaci.

Pri hodnotení tohto ročníka festivalu mohli organizátori s uspokojením skonštatovať, že spolupráca medzi Českom a Slovenskom na poli astronómie nie je iba záležitosť minulosti, ale stále pretrvávajúcim vzťahom, ktorý oceňuje aj široká verejnosť.

Pavol Ďuriš

Autori fotografií

L. Hric (4), J.Csipes (1), D. Rapavá (2)



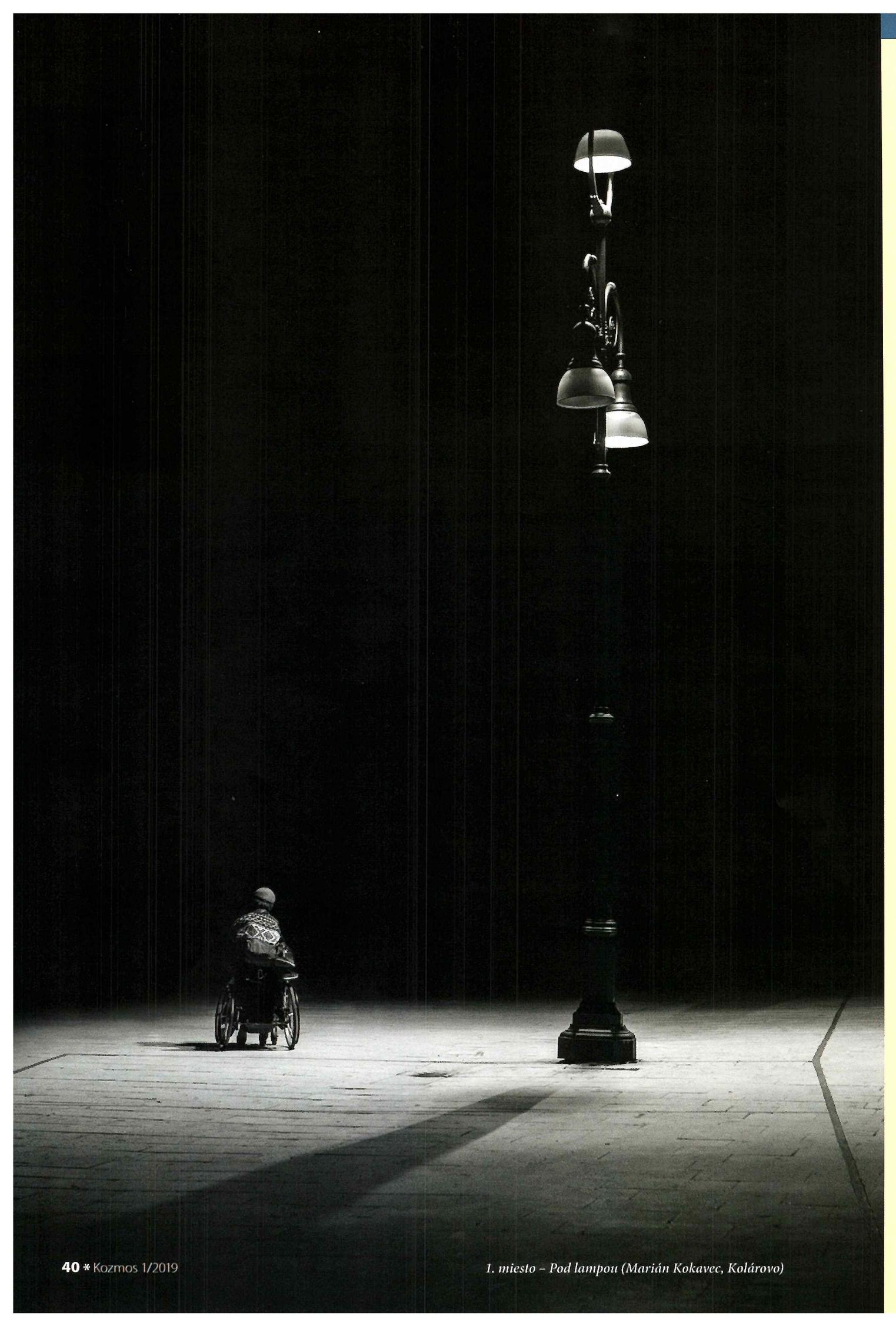
Csereho cenu Slovenskej astronomickej spoločnosti pri SAV za rok 2018 prevzal z rúk L. Hrica a R. Gálisa šťastný Pavol Rapavý.



Jiří Grygar s mladými účastníkmi festivalu.



Kozmonaut Ivan Bella rozpráva o svojej ceste na vesmírnu stanicu Mir.



Vyhodnotenie fotosúťaže Svietme si na cestu...nie na hviezdy 2018

Problém svetelného znečistenia sa za pár posledných rokov podarilo dostačne zviditeľniť aj vďaka masívnej propagácii, mnohým vydaným materiálom i vzniknutým parkom tmavej oblohy. I súťaž Svietme si na cestu... nie na hviezdy mala od počiatku predovšetkým tento cieľ.

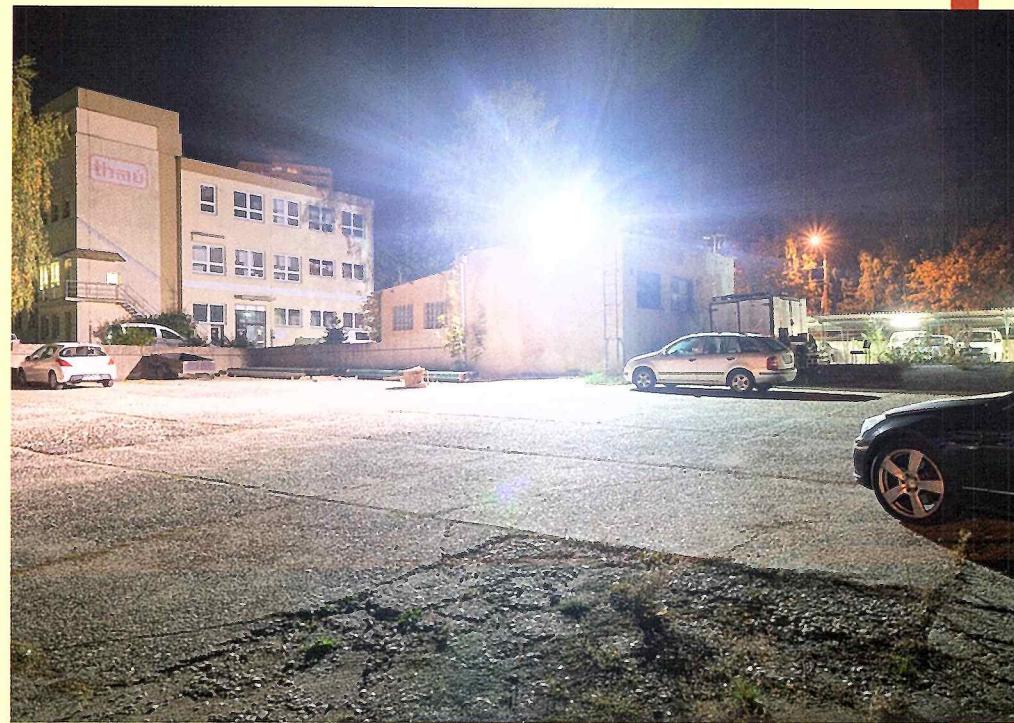
Aj po rokoch sa však stále stretávame doslova s brutálnym nasvietením, a preto i v tomto roku v kategórii *Ako nesvetiť* bolo dosť kandidátov na výhru. Špecifikum tejto súťaže je práve spomínaný aspekt, preto by ocenenú fotografiu v tejto kategórii pravdepodobne nechcel mať doma na stene nikto a málkomu by také osvetlenie vyhovovalo v bežnom živote. Táto dilema medzi estetickým a kritickým pohľadom možno niektorých zmätie; pripomíname preto, že porota musí uprednostniť tie zábery, ktoré najlepšie plnia poslanie súťaže. S potešením sme však zaregistrovali aj posun v námete pri pohľade na typ svietidel, keď príliš veľa modrej je naozaj problém.

Kategória *o správnom svetle* býva najmenej zastúpená, ale ako sa ukázalo, má v nej miesto aj klasická emotívna fotografia, ktorú by ste si klúdne a radi dali na stenu. A obohatením boli aj väčšie scény miest, kde evidentne už veľmi dobre vedia, ako svietiť.

Tretia kategória *o variáciách* je z estetického hľadiska najklasickejšou a aj najzastúpenejšou a teda pre porotu najľažšou. Keby sme mali zotrvať v predchádzajúcim porovnaní, tak v množstve krásnych fotografií od výborných fotografov by ste len tažko našli také, ktoré by ste si na stenu nedali... Mnohé by sa výrazne uplatnili v súťaži Astrofoto, lebo námet hviezdnnej oblohy mal absolútну prevahu. Čo však tá nádhera hviezdnnej oblohy znamená pre človeka, to už je aj o emóciách. Možno vo dvojiciach, reálnych či tušených, ak je tam priamo viditeľný len jeden, ale obrazom oslovuje druhého, alebo dokonca len takých metaforických. Ak sa autorovi podarí podobnú emóciu vyjadriť s novým nápadom, hoci aj nepriamo, osloví to najviac, a divák skutočne precíti, čo znamená pohľad na hviezdy a prečo si na ne nemáme svietiť.

Názov Svietme si na cestu...nie na hviezdy možno chápať aj metaforicky. Kedysi nás hviezdy viedli a nemali by sme ich svetlo strácať, či už sú to tie reálne, alebo naše vnútorné. Podávanie patrí najmä všetkým tým, ktorí prispeli do súťaže a pomohli nosnej myšlienke ožiť v nových obrazoch, rovnako jej sponzorovi a organizátorom. Porotu potešilo, že súťaž oslovouje aj nových autorov a tých starých stále inšpiruje, čo dokazuje aj niekoľko čísel na záver: do 8. ročníka tejto fotosúťaže bolo zaslaných 119 prác od 32 autorov.

Danka Rapavá



1. miesto – Parkoviště (Pavel Matoušek, Řevnice)



1. miesto – Romance za nejdelšího zatmení (Petr Horálek, Pardubice)

Výsledky fotosúťaže 2018

1. kategória – Ako rozhodne nesvetiť

1. miesto – Parkoviště (Pavel Matoušek, Řevnice)
2. miesto – Bratislava (Jaroslav Kanak, Brezno)
3. miesto – Nad svetlami (Pavol Kostolný, Rajecké Teplice)

2. kategória – Správne svetlo

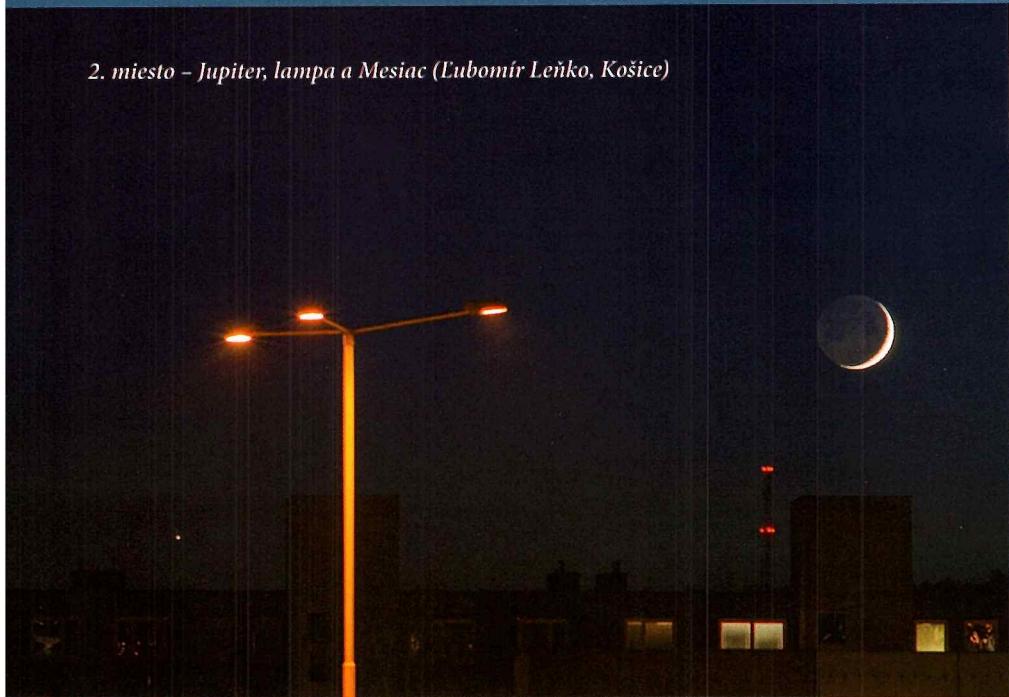
1. miesto – Pod lampou (Marián Kokavec, Kolárovo)
2. miesto – Jupiter, lampa a Mesiac (Ľubomír Leňko, Košice)
3. miesto – Stmievanie nad Grenoblom (Lukáš Hodoň, Snežnica)

3. kategória – Variácie na tému svetlo a tma

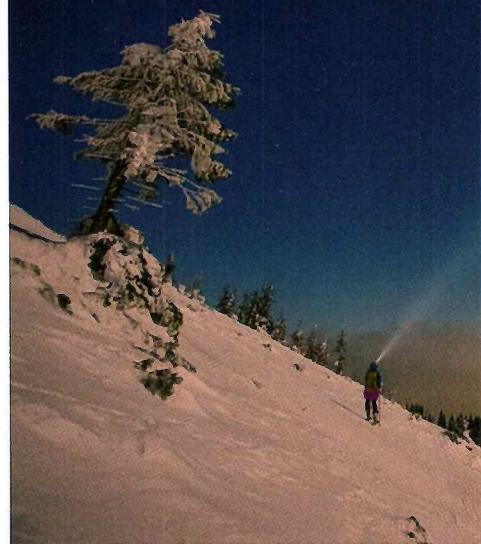
1. miesto – Romance za nejdelšího zatmení (Petr Horálek, Pardubice)
2. miesto – Dvaja zamrznutí (Majo Chudý, Vinohradky nad Váhom)
3. miesto – Ukážeme vám hviezdy (Lukáš Hodoň, Snežnica)

Súťaž

2. miesto – Jupiter, lampa a Mesiac (Ľubomír Leňko, Košice)



3. miesto – Ukážeme vám hviezdy
(Lukáš Hodoň, Snežnica)



2. miesto – Dvaja zamrznutí (Majo Chudý, Vinohrady nad Váhom)



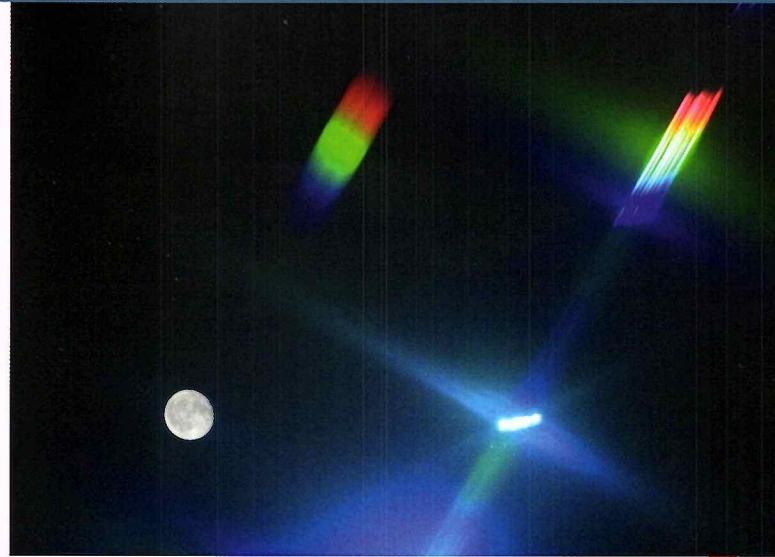
3. miesto – Stmievanie nad Grenoblom
(Lukáš Hodoň, Snežnica)





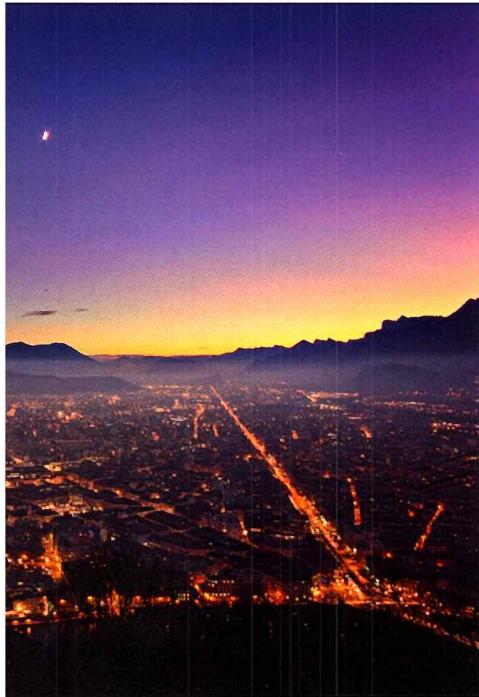
„Trochu veľa modrej“
LED osvetlenie ulíc zdanlivo výhovuje šetrnému a úspornému svieteniu, no intenzita je príliš vysoká a úroveň odrazeného svetla od predmetov zvyšuje svetelné znečistenie prostredia. Výrazný pík v modrej až fialovej oblasti spektra nepriaznivo pôsobí na celú biosféru vrátane človeka. Pred týmto krátkovlnným svetlom vďaka (najúčinnejšiemu) rozptylu niet úniku :-).

Pôvodne som chcel nazvať seriál „Modrá smrť“. Fotografie porovnávajú spektrum pouličného LED osvetlenia a „spektrum Mesiaca“.



Okrem nepomeru jasov je vidieť aj prebytok svetla krátkych vlnových dĺžok v spektri svetidiel.

Peter Dolinský



Podmienky fotosúťaže Svetme... 2019



Slovenská ústredná hvezdáreň v spolupráci so Slovenským zväzom astronómov a Slovenskou astronomickou spoločnosťou pri SAV vyhlasuje 9. ročník medzinárodnej fotosúťaže Svetme si na cestu...nie na hviezdy zameranej na aktuálnu problematiku svetelného znečistenia.

Súťažné kategórie:

1. Ako rozhodne nesvetiť,
2. Správne svetlo
3. Variácie na tému svetlo a tma

Ceny: V každej kategórii budú finančne ocenené prvé tri miesta (120 €, 75 €, 50 €)

Uzávierka: 31. 10. 2019

Fotografie sa posielajú e-mailom na adresu svietme@suh.sk.

Podrobnejšie podmienky fotosúťaže, aj so stručným popisom jednotlivých kategórií, sú na stránkach vyhlasovateľov (suh.sk, szaa.org, sas.astro.sk). Podporovateľom fotosúťaže je firma Tromf, výsledky budú uviedené v časopise Kozmos 1/2020.

P. R.



3. miesto – Nad svetlami (Pavol Kostolný, Rajecké Teplice)

Peking mladých astronómov príjemne prekvapil

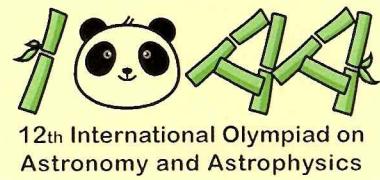
V poradí už 12. ročník Medzinárodnej olympiády z astronómie a astrofyziky (IOAA) sa konal od 3. do 11. novembra 2018 v Pekingu. Bol to veľký ústretový krok od čínskych organizátorov, nakolko Peking už usporiadateľom tejto olympiády bol – v septembri 2010.

V roku 2018 olympiádu dlhodobo plánovala organizovať Srí Lanka. Od svojho úmyslu nакoniec odstúpila, hoci v októbri 2018 zorganizovala Medzinárodnú astronomickú olympiádu (IOA) pre žiakov vo veku 14 – 8 rokov. V porovnaní s IOAA je to súťaž menšieho významu. Vzniknutý problém na poslednú

chvíľu vyriešilo planetárium v Pekingu. Všetci účastníci vrátane študentov sa však museli zaviazať, že formou vložného si uhradia pomerne drahé ubytovanie.

Dobrá príprava pred výcestovaním

Tušili sme, že olympiáda v Číne bude náročná, preto sme sa počas leta a ešte aj tesne pred olympiádou sústredili na prípravu študentov. Pre najlepších riešiteľov celoslovenského finálového kola, ktoré každoročne organizuje Slovenská astronomická spoločnosť pri SAV a Slovenská ústredná hvezdáreň v Hurbanove sme zabezpečili účasť na workshope v Maďarsku. Okrem toho



12th International Olympiad on Astronomy and Astrophysics

všetci absolvovali dvojdňový prípravný seminár v Krajškej hvezdárni a planetáriu Maximiliána Hella v Žiari nad Hronom, kde sa im venoval hlavne Mgr. Tomáš Dobrovodský. My sme im zase vybavovali víza v Bratislave, aby nestrácali dva dni drahocenného času pred odletom do Pekingu.

Ked' sme 1. novembra odlietali z Viedne, spočítal som si, že je to už moja piata cesta do Pekingu, takže som si ani neplánoval, že navštívim nejaké tamojšie zaujímavosti; už som ich poznal z minulosti, no tešilo ma, že toto krásne veľkomesto budem môcť ukázať našim študentom.

Po prílete do Pekingu sme si hodinky posunuli o 7 hodín dopredu. Dobre nám preto padol volný deň na aklimatizáciu, ktorý študenti využili aj na prehliadku zakázaného mesta, ktoré je „povinnou jazdou“ pri prvej návštive Pekingu. Už po prvom dni Peking študentov očaril, staré hutongy prerobené na obchodné uličky, široké ulice plné áut, množstvo elektromobilov, množstvo zelene a perfektne fungujúce metro, druhé najväčšie na svete po metre v Šanghaji.

Najhoršie počasie v histórii IOAA

Prvý deň olympiády vystriedal slnečné počasie drobný dážď a teplota klesla na 5 °C. Organizátori nám sice rozdali vyše 300 pršiplášťov, no absolvovanie trojhodinového otváracieho ceremoniálu na dvore planetária aj tak prinieslo prechladnutie väčšej časti účastníkov, najmä tých z teplých krajín.

Počas otvorenia naznalo množstvo príhovorov a nik si ten svoj nechcel skratiť kvôli počasiu, nakolko chápem, že si ho každý pripravoval s plnou vážnosťou vzhľadom k tak významnej udalosti. Ako prvý pozdravil zmoknutých poslucháčov Guo Guangsheng, prezident Pekinskej akadémie vedy a techniky, ktorá bola aj hlavným organizátorom celej olympiády. Za hostiteľskú inštitúciu, Pekinské planetárium, pozdravil zhromaždených vedúcich a študentov jeho riaditeľ Jin Zhu.

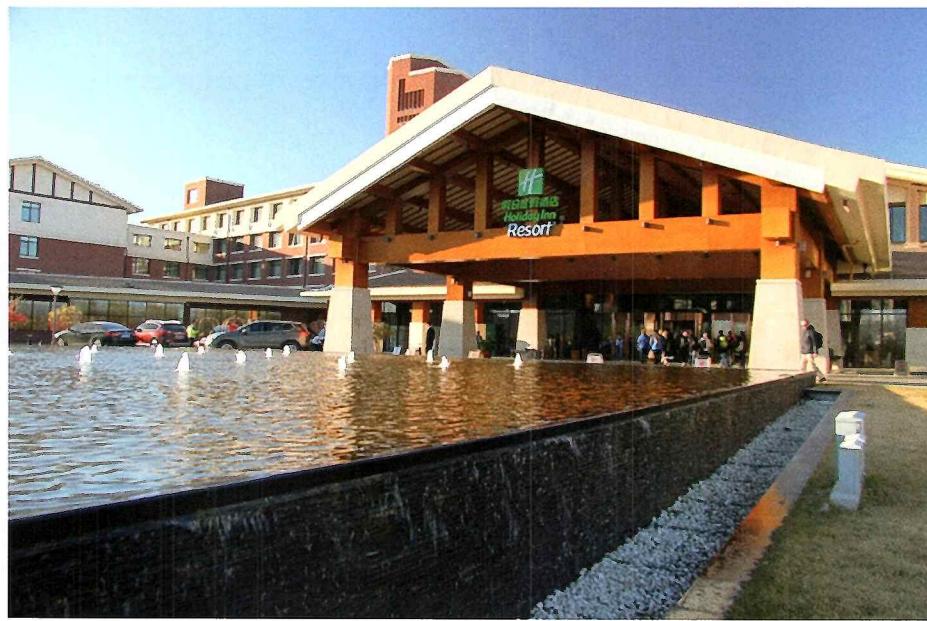
Po úvodných príhovoroch sa na pódiu predstavili postupne všetky zahraničné výpravy. Po náročnom programe sme museli od študentov vyzbierať všetky elektronické komunikačné prostriedky a študentov odviezli do 2 hodiny vzdialého horského rezortu Holiday Inn v Yanqingu. Rezort sa nachádza nedaleko za Veľkým čínskym múrom, v smere od Pekingu, preto pre študentov počas voľného dňa zorganizovali aj jeho prehliadku. V okolí tohto rezortu sa budú v roku 2022 konať Zimné olympijské hry a v uvedenom rezorte budú zrejmé ubytovanie aj športovci.

Príprava úloh v planetáriu

My vedúci sme zostali v Pekingu a pešo sme sa presunuli do iba 500m vzdialého hotela. Potom sme celý týždeň chodili pohodlne medzi hotelom a planetáriom, v ktorom pre-



Slovenskí olympionici tesne pred odletom z Varšavy. Zľava Sára Belejová, Dejan Prokop, Janka Švrčková, Radovan Lassák a Samuel Amrich.



Rezort Holiday Inn, kde boli ubytovaní naši študenti.

biehali všetky porady medzinárodného výboru olympiády. Pre nás aj študentov sa začali tradičné aktivity. Upravovali sme a prekladali úlohy, ktoré pripravili čínski astronómovia, prípadne tie, ktoré dodali kolegovia z niektorých krajín. Na riešenie dátovej analýzy sme vybojovali hodinu navyše, takže na dve ľahké úlohy mali študenti 5 hodín. Mohla by sa to zdať dostatočne dlhá doba, no každá z úloh bola rozdelená ešte na 5 – 7 časťkových úloh, študenti museli spracovať tabuľkové dátu a ručne vykreslovať grafy do pripravených milimetrových papierov, takže ani po 5 hodinách poctivej práce nemali všetko dokončené. Časť praktických úloh bola veľmi netradičná a naši študenti ju právom kritizovali, nakoľko nezohľadňovala astronomické vedomosti, bola veľmi ľahká a tým zvýhodnila aj slabších pozorovateľov oblohy, ktorí by inak možno neuspeli. Spočívala v namierení a zostenení malého astronomického dalekohľadu na vzdialenosť monitor so zobrazeným náhodne vybraným slovom. Bolo len potrebné toto slovo prečítať a zapísť do formulára. Naši študenti sú práve dobrými pozorovateľmi nočnej oblohy, a preto by boli zvládli aj oveľa ľahšiu praktickú úlohu. Takýto prístup organizátorov spôsobil, že po medailách siahlo viac študentov ako v predchádzajúcich rokoch.

Stretnutie po týždni

Po týždni sme konečne opäť stretli našich študentov v ich rezorte, kam nás viesli z Pekingu, aby sme si pozreli aj priestory, kde trávili náročný týždeň a riešili astronomické úlohy. Mali sme možnosť podrobne prediskutovať ich riešenia a pripraviť sa na moderovanie hodnotení. Najsmutnejší bol Dejan Prokop, ktorý omylom písal riešenia aj na rubové strany určených papierov, čo by sa nemalo robiť. Slúbili sme mu, že toto vybavíme na moderáciách, nakoľko v opačnom prípade by stratil značný počet bodov. V študentskom rezorte sme potom spoločne strávili aj slávnostný večer ochutnávaním jedál typickej, veľmi rôznorodej čínskej kuchyne.

Moderovanie úloh ďalší deň v planetériu bolo náročné. Jednak na to bolo veľmi málo času, 10 minút na 1 – 2 úlohy pre všetkých našich študentov, a jednako čínski členovia hodnotiacej komisie boli pomerne neobľomní a trvali na svojich hodnoteniach. Niečo sa predsa len podarilo vybojať a boli sme povídační za každý bod navyše, nakoľko už sme to v minulosti zažili, keď nás od medaily delilo menej ako pol bodu.

Napätie počas záverečného ceremoniálu

Napriek všetkým informáciám o riešeniach našich študentov sme najväčšie napätie prežívali počas záverečného ceremoniálu. Prebiehal posledný deň v do obedňajších hodinách v rezorte študentov, kam nás opäť viesli z Pekingu po trojprúdovej diaľnici. Bolo vidieť, ako Číňania budujú tunely pre vysokorychlostnú železnicu, ktorá v roku 2022 povedie z Pekingu do miest olympijských hier. Je zaujímavé vidieť, ako súčasní stavebníci kopú tunely popod hory, na hrebeňoch ktorých budovali ich predchodcovia pred vyše 500 rokmi veľký mûr.



Slovenská výprava s diplomami a medailami. Zľava Dr. Ladislav Hric, Dejan Prokop, Radovan Lascsák, Janka Švrčková, Samuel Amrich, Sára Belejová a Dr. Mária Hricová Bartolomejová.

Záverečný ceremoniál sa konal v kongresovom centre, ktoré je súčasťou rezortu Holiday Inn, a ktoré pojalo všetkých 204 študentov z 39 krajín celého sveta, vyše 100 vedúcich výprav a pozorovateľov, vzácných hostí, predstaviteľov zúčastnených inštitúcií, členov hodnotiacej komisie a všetkých pomocníkov, ktorí zabezpečili perfektnú organizáciu olympiády. Spoločne so študentmi sme zasadli za okrúhle stoly a s veľkým napäťom sme sledovali výhlasovanie výsledkov. Vedeli sme, že určite dostaneme jednu medailu, no nedalo sa odhadnúť, z akého kovu bude. Udeľovali sa diplomy pre úspešných riešiteľov a tu čítali mená obidvoch našich Košičanov, Rada Lascsáka a Sama Amricha z Gymnázia na Poštovej ulici. Prekvapivo nečítali Dejana Prokopa z Gymnázia v Galante, čo znamenalo, že išiel na pódium až neskôr, po bronzovú medailu. Našu Janku stále nečítajú, takže je to dobré, myslíme si, že to bude silná strieborná medaila. Stále čakáme, posledná strieborná medaila už bola udelená a Janku nečítali.

Vtedy nás prepadlo obrovské vzrušenie. Janka Švrčková zo Senice, naša najskúsenejšia olympionička, získava už tretiu olympijskú medailu, po dvoch bronzových je to teraz v Číne zlatá pre Slovensko. Dievčatá pláču od šťastia a nás to opäť posúva medzi svetovú špičku spomedzi zúčastnených krajín. Slovenská vlajka je tam popri vlnjkách iných krajín a na internete si to pozerá celý svet.

Na taký let sa nezabúda

Treba ešte spomenúť našu kurióznu spiatočnú cestu. Tu sme až taký úspešní neboli, no nebola to naša vina, ale zásluha poľskej leteckej spoločnosti LOT, ktorej sa tesne pred plánovaným odletom z Pekingu pokazilo lietadlo. Neznáma kvapalina vytvorila mláku na betónovej ploche letiska a začalo dlhé, takmer 12 hodinové čakanie. Najprv sme boli hladní a smädni, bolo dosť chladno, čaj bez cukru a sendvič bez šunky nás nenadchol, a až po 7 hodinách nás poslali na večeru do letiskovej reštaurácie. Potom ešte poľský koordinátor le-

tov poprosil cestujúcich o peniaze, aby mohol zaplatiť Číňanom za opravu lietadla. A táto smiešna príhoda sa objavila vo svetových médiach ako kritika leteckej spoločnosti.

Ked' som konečne sadol do lietadla, od únavy som prespal aj večeru, napokon aj tak nebola jedlá. Márnem som sa tešil na raňajky, tie boli ešte horšie, no keď sme pristáli vo Varšave, boli sme šťastní. Posledný let do Viedne sme už nestihli, preto nás ubytovali na letisku v hoteli, dostali sme sendvič s vytuženou šunkou a výborné raňajky. A keď sme prvým ranným letom z Varšavy pristáli vo Viedni, to už ako keby sme boli doma.

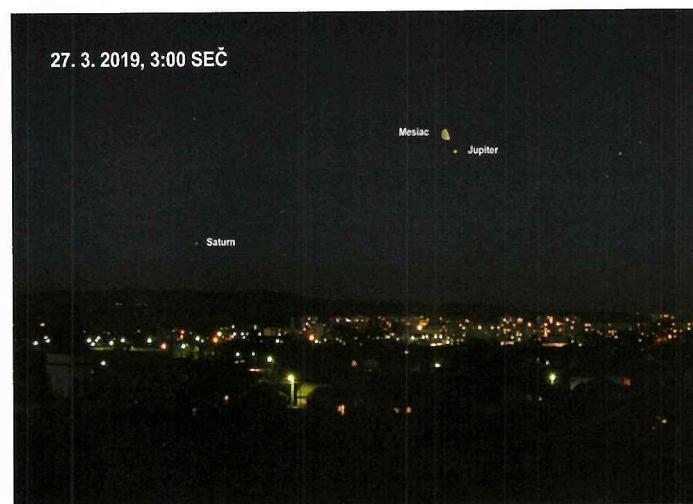
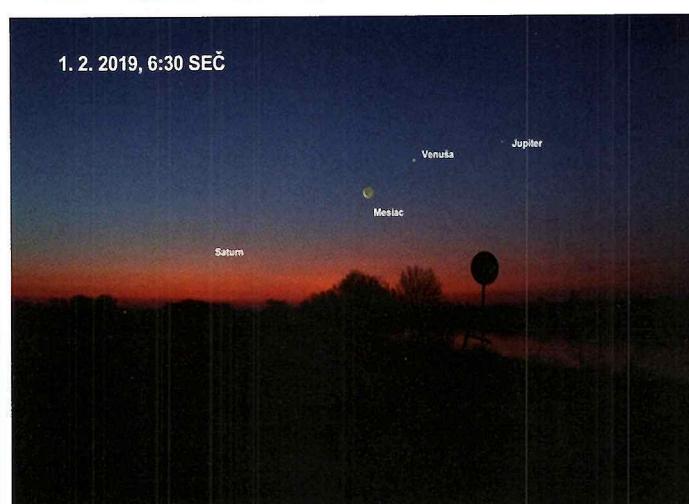
Takže my aj študenti sme boli plní zážitkov, a napriek niektorým problémom to všetko do padlo skvele. A vôbec nebanujem, že som bol opäť v Pekingu. Je to tak dynamicky sa rozvíjajúce mesto, že som dostał chut' pozrieť sa sem znova, možno aj počas olympiády v roku 2022. Ďakujeme všetkým, ktorí nám s organizovaním Astronomickej olympiády (AO) na Slovensku pomáhajú; sú to členovia Výkonného výboru AO a z inštitúcií SÚH v Hurbanove, HaP Maximiliána Hella v Žiari nad Hronom a tiež UPJŠ v Košiciach.

RNDr. Ladislav Hric, CSc., SÚH Hurbanovo
RNDr. Mária Hricová Bartolomejová,
Slovenská astronomická spoločnosť pri SAV
Foto - autori



Naše medaily na slovenskom stole spolu s pan-dou - logom olympiády a symbolom Číny.

Obloha v kalendári



Noci sa nám pomaličky skracujú, krátko pred rovnodenosťou sa vyrovňajú s dĺžkou dňa a teploty sú stále príjemnejšie. Večerné podmienky na pozorovanie Merkúra sú najlepšie v tomto roku a Venuša, táto ozdoba rannej oblohy, sa uhlovo približuje k Slnku, no keďže je jasná, zaujme aj tak. Viditeľnosť Marsu, Jupitera a Saturna sa mení len málo, na ich pozorovanie teda budeme mať času dosť. Aj keď na svetlej oblohe, určite si nezabudnime ďalekohľadom pozrieť zákryt Saturna. Horšie je to však s kométiemi, jasnosť skvelej komety 46P/Wirtanen klesá a na vyššiu aktivitu meteorov si bude musieť počkať až do polovice apríla.

Planéty

Merkúr je začiatkom februára v maximálnej jasnosti, no je nepozorovateľný, zapadá súčasne so Slnkom. Podmienky sa však rýchlo zlepšujú. Na prelome dekád už má -1,2 mag a zapadne koncom občianskeho súmraku, a v polovici februára na konci súmraku nautického. Najlepšie podmienky sú na prelome mesiacov, nakoľko je 27. 2. v najväčšej východnej elongácii ($18,1^\circ$; $-0,4$ mag) a zapadne takmer na konci astronomického súmraku viac ako 1,5 hodiny po Slnku. Sú to najlepšie večerné pozorovacie podmienky v tomto roku a mali by sme ho nájsť bez väčších problémov. Po elongácii sa uhlovo približuje k Slnku a jeho jasnosť rýchlo klesá. V polovici marca už zapadne súčasne so Slnkom, je v dolnej konjunkcii a súčasne k nám najbližšie ($0,6091$ AU). Po konjunkcii sa presunie na rannú ob-

lohu, no jeho jasnosť stúpa len pozvoľna a tak ho nájdeme až koncom tohto obdobia. 31. 1. na konci nautického súmraku je len tesne nad obzorom s jasnosťou 0,9 mag.

19. 2. bude Merkúr (-1,0 mag) v konjunkcii s Neptúnom (8,0 mag) a tak sa ich po západe Slnka, už aj deň vopred, môžeme pokúsiť nájsť ďalekohľadom, aj keď to nebude nijako jednoduché. 5. 3. je v zastávke a začne sa pohybovať späťne.

Venuša (-4,3 až -3,9 mag) bude ozdobou rannej oblohy, vychádza už počas astronomickej noci. Jej viditeľnosť sa však kráti, na prelome mesiacov sa dostáva nad obzor len začiatkom astronomického súmraku a na konci marca vychádza len začiatkom nautického súmraku hodinu pred Slnkom. Vzhľadom na svoju jasnosť však zaujme. Posledné marcové ráno obzor skrášli ešte aj Mesiac a slabší Saturn.

18. 2. pred východom Slnka si pozrime konjunkciu Venuše so Saturnom, bude ich delif 1° a tak sa zmestia do dostatočne veľkého zorného poľa ďalekohľadu. 2. 3. nastane konjunkcia Venuše s Mesiacom, no keďže nastáva pod obzorom, upútajú našu pozornosť až nasledujúce ráno. Vpravo poteší aj Saturn a jasný Jupiter.

Mars (0,9 až 1,4 mag) na večernej oblohe sa presunie 13. 2. z Rýb do Barana a 23. 3. do Býka. Podmienky viditeľnosti sa menia len málo, zapadne hodinu pred polnocou. Jeho jasnosť klesá, nakoľko sa od nás vzdialí z $1,5267$ až na $2,0121$ AU a jeho uhlový rozmer poklesne až na $4,6''$. V ďalekohľade ho uvidíme vo fáze, ktorá sa zmení z $0,89$ na $0,94$. Kon-

com marca skončí svoju púť medzi hviezdami 3° pod Plejádami.

10. 2. a 11. 3. bude v konjunkcii s Mesiacom, aj keď len vo vzdialenosťi okolo 6° .

13. 2. sa k Marsu len na 1° priblíži Urán, no ich vzájomná vzdialenosť sa mení len málo a tak si ich môžeme pozrieť niekoľko dní pred aj po konjunkcii.

Jupiter (-1,9 až -2,2 mag) je v južnej časti Hadonosa, vychádza asi 4 hodiny po polnoci ešte počas astronomickej noci a jeho viditeľnosť sa stále zlepšuje. Koncom marca už je nad obzorom takmer celú druhú polovicu noci. Zaujme svoju jasnosťou, v ďalekohľade ho uvidíme ako mierne sploštený kotúčik a v jeho blízkosti aj štyri najväčšie mesiace Io, Europa, Ganymedes a Callisto. Výkonnejší prístroj ukáže aj jeho búrlivú atmosféru s tmavými rovníkovými pásmi, prípadne aj s Veľkou červenou škvŕnou. Jeho vzdialenosť od nás sa zmenšuje, koncom marca bude $4,9597$ AU a jeho rovníkový uhlový priemer dosiahne $40''$.

Konjunkcie s Mesiacom okolo poslednej štvrti nastávajú 27. 2. a 27. 3., výhodnejšia je tá marcová, nakoľko nastáva nad obzorom.

Saturn (0,6 mag) v Strelcovi je na večernej oblohe, vychádza v polovici astronomickeho súmraku. Jeho viditeľnosť sa zlepšuje, koncom marca sa dostáva nad obzor už dve hodiny po polnoci. Je na okraji Mliečnej cesty, zaujme pokojným žltkastým svitom. V ďalekohľade zaujmú jeho mohutné prstence, ktoré vidíme z ich severnej strany. Sú široko roztvorené, za dobrých pozorovacích podmienok zbadáme aj tmavú Cassiniho medzeru. V blízkosti

Merkúr



Venuša



1. 2. – 1. 3. , – 1. 4.

Mars



Jupiter



1. 3. 2019

Saturn



Úran



Neptún



30"

**Prechody Veľkej červenej škvurny
centrálnym poludníkom Jupitera
(Jupiterov systém II)**

Dátum; čas	Dátum; čas	Dátum; čas	Dátum; čas
1.2.; 5:14	16.2.; 2:43	4.3.; 5:57	17.3.; 1:45
3.2.; 6:53	18.2.; 4:21	5.3.; 1:48	19.3.; 3:23
4.2.; 2:45	20.2.; 6:00	6.3.; 7:36	21.3.; 5:02
5.2.; 8:32	21.2.; 1:52	7.3.; 3:27	22.3.; 0:53
6.2.; 4:24	22.2.; 7:39	9.3.; 5:06	23.3.; 6:40
8.2.; 6:03	23.2.; 3:31	10.3.; 0:57	24.3.; 2:32
9.2.; 1:54	25.2.; 5:09	11.3.; 6:44	26.3.; 4:10
10.2.; 7:42	26.2.; 1:01	12.3.; 2:36	27.3.; 0:01
11.2.; 3:33	27.2.; 6:48	14.3.; 4:14	28.3.; 5:49
13.2.; 5:12	28.2.; 2:40	15.3.; 0:06	29.3.; 1:40
15.2.; 6:51	2.3.; 4:18	16.3.; 5:53	31.3.; 4:18



Kométa C/2018 V1 (Machholz-Fujikawa-Iwamoto) 13. 11. 2018 (foto M. Jäger).



Kométa 46P/Wirtanen 28. 11. 2018 (foto: M. Harman).

Saturna nájdeme aj jeho najväčší mesiac Titan (8,9 mag) a do 11 mag aj Dione, Rhei a Thetys. 2. 2. ráno, okolo 6:50, v polovici občianskeho súmraku, uvidíme ďalekohľadom zákryt Saturna Mesiacom. Vstup Saturna aj s prstencom bude trvať viac ako 1,5 min, na zvýraznenie kontrastu nám pomôže žltý alebo oranžový filter. Výstup nastáva už počas dňa, okolo 7:43, a pozorovateľný teda nebude. Ďalší zákryt nastane 1. 3., no ešte pod obzorom a tak obe telesá uvidíme až ráno po ich východe. V peknej konjunkcii bude Saturn s Mesiacom v poslednej štvrti 29. 3., nízko nad obzorom uvidíme aj Venušu a vpravo aj Jupiter. Urán (5,8 – 5,9 mag) je na večernej oblohe, 5. 2. sa presunie z Rýb do Barana. Zapadne krátko pred polnocou, koncom marca už o 20. hodine koncom astronomickej súmraku. Je v oblasti pomerne chudobnej na hviezdy a tak sa dá nájsť aj bez ďalekohľadu, no bezpečne ho zidentifikujeme už triédrom. V ďalekohľade ho uvidíme ako malý kotúčik s priemerom 3,5". Konjunkcie s Mesiacom sú nevýrazné, len vo vzdialosti viac ako 5°, no mohlo by zaujať

vzájomné priblíženie Uránu s Marsom 13. 2. Neptún (8,0 mag) je vo východnej časti Vodára, nájdeme ho na večernej oblohe, no jeho viditeľnosť sa rýchlo kráti. Začiatkom februára zapadá ešte počas astronomickej noci, no na prelome mesiacov pol hodiny po Slnku. 7. 3. sa presunie len stupeň pod Slnkom, je od nás aj najďalej (30,9297 AU). Koncom marca je už na rannej oblohe, no vychádza len na začiatku občianskeho súmraku.

Konjunkcia s Mesiacom 7. 2. je vo vzdialosti necelé 4°, no 19. 2. je v pomerne tesnej konjunkcii s Merkúrom.

Jarná rovnodenosť nastane 20. 3. o 22:58, je to začiatok astronomickej jari. Slnko je presne na nebeskom rovníku, v jarnom bode, jeho ekliptikálna dĺžka dosiahne 0. Vstupuje do znamenia Barana, je vŕšok v súhvezdí Rýb, vychádza na východe (vo východnom bode) a zapadá v západnom bode. V dôsledku refrakcie sú vŕšok deň a noc rovnako dlhé už o niekoľko dní skôr. Dni sa tak budú predĺžovať až do letného slnovratu. V občianskom živote sa 31. 3. začne používať letný čas.

Mesiac bude v splne 19. 2., a keďže je súčasne v prízemí, jeho zdanlivý uhlový priemer dosiahne 33,5'.

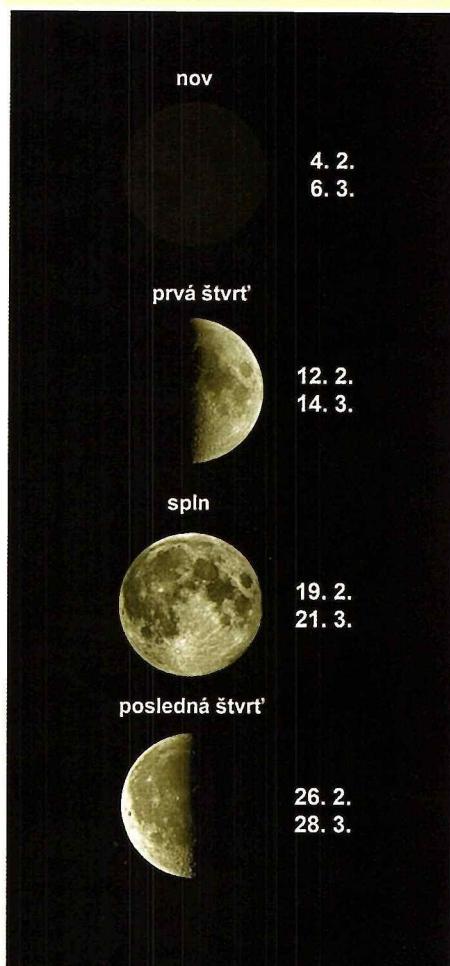
Trpasličie planéty

(134340) Pluto (14,4 mag) v Strelcovi je ešte stále uhlovo blízko Slnka, koncom marca jeho elongácia dosiahne necelých 80°. Bude vychádzať dve hodiny po polnoci a koncom astronomickej noci je len 8° nad obzorom.

(1) Ceres (8,8 – 8,2 mag) nájdeme na rannej oblohe, jej viditeľnosť sa zlepšuje. Presunie sa zo Škorpióna do Hadonosa, začiatkom februára vychádza 2 hodiny po polnoci, no koncom marca už hodinu pred polnocou. Príjemne zjasňuje, priblíži sa k nám z 2,8472 na 2,1292 AU.

Fázy Mesiaca

nov	4.2.; 22:04	6.3.; 17:04
prvá štvrt'	12.2.; 23:26	14.3.; 11:27
spln	19.2.; 16:53	21.3.; 2:43
posledná štvrt'	26.2.; 12:28	28.3.; 5:10



Zákryty hviezd Mesiacom (február – marec 2019)

Dátum	UT	f	XZ	mag	CA	PA	a	b
					h	m	s	s/°
11.2.	17	14	30	R	3322	4,3	-245	187
13.2.	23	25	19	D	5668	5,7	+295	141
14.2.	23	11	13	D	6819	6,8	+78N	73
15.2.	18	16	23	D	8521	6,9	+73N	73
16.2.	1	58	55	D	9101	6,6	+90S	91
24.2.	0	16	19	R	20148	6,6	+79N	298
24.2.	0	40	23	R	20162	6,7	+89S	286
1.3.	4	30	1	R	25834	5,8	+67N	289
13.3.	17	31	47	D	6229	5,1	+52N	46
14.3.	17	31	54	D	7631	5,9	+17N	17
15.3.	20	19	19	D	10040	6,7	+66S	119
17.3.	20	11	14	D	13640	6,6	+64N	81
17.3.	20	40	27	D	13660	6,6	+87N	104
19.3.	2	24	0	D	15320	6,4	+90S	115
29.3.	3	10	12	R	26811	5,6	+50N	302

Predpovede sú pre polohu $\lambda_0 = 20^\circ$ E a $\varphi_0 = 48,5^\circ$ N s nadmorskou výškou 0 m. Pre konkrétnu polohu sa čas počíta zo vzťahu $t = t_0 + a(\lambda - \lambda_0) + b(\varphi - \varphi_0)$, kde koeficienty a, b sú uvedené pri každom zákryte.

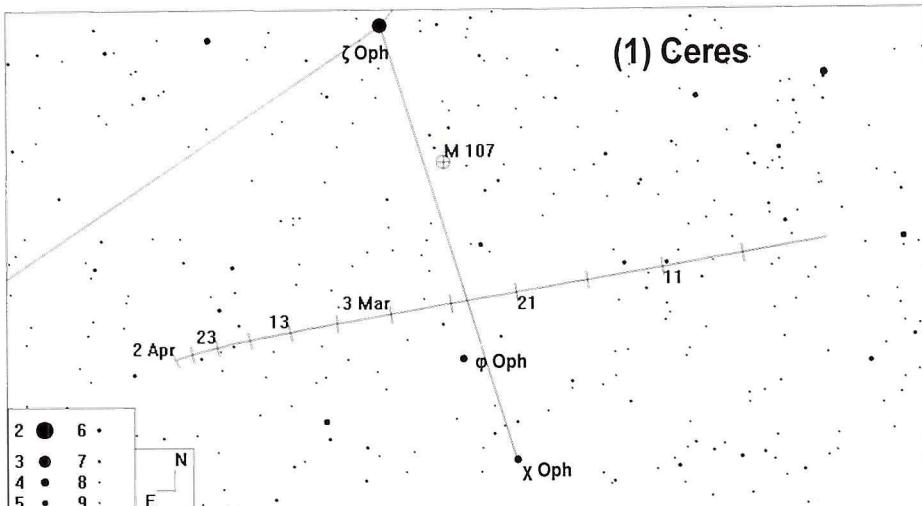
UT = čas zákrytu vo svetovom čase; f = typ úkazu: D – vstup, R – výstup; XZ = číslo hviezdy v katalógu XZ (katalóg hviezd do $\pm 6^\circ 40'$ od ekliptiky); mag = jasnosť hviezdy; CA = uhol meraný od severného (N) alebo južného (S) rohu Mesiaca k hviezde; PA = pozičný uhol meraný od severného okraja Mesiaca v kladnom smere.

Efemerida (1) Ceres

Dátum	RA(2000)	D(2000)	mag	el.
1. 2.	16h03,9m	-14°21,2'	8,8	69,9
11. 2.	16h16,2m	-14°56,3'	8,7	77,0
21. 2.	16h27,2m	-15°24,9'	8,6	84,3
3. 3.	16h36,6m	-15°47,9'	8,5	92,0
13. 3.	16h44,2m	-16°06,3'	8,4	100,1
23. 3.	16h49,7m	-16°21,1'	8,3	108,6
2. 4.	16h52,8m	-16°33,5'	8,1	117,7

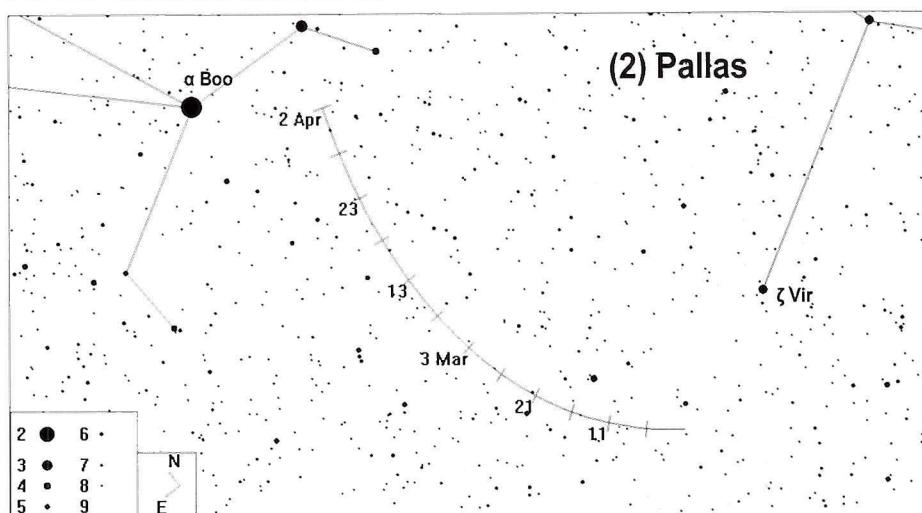
Efemerida (2) Pallas

Dátum	RA(2000)	D(2000)	mag	el.
1. 2.	13h57,3m	-02°08,5'	8,6	103,4
6. 2.	14h01,2m	-01°07,4'	8,6	107,7
11. 2.	14h04,5m	+00°00,7'	8,5	112,2
16. 2.	14h07,2m	+01°15,9'	8,4	116,8
21. 2.	14h09,3m	+02°37,7'	8,3	121,4
26. 2.	14h10,7m	+04°05,9'	8,3	126,1
3. 3.	14h11,3m	+05°39,6'	8,2	130,7
8. 3.	14h11,3m	+07°18,0'	8,1	135,3
13. 3.	14h10,5m	+08°59,7'	8,0	139,7
18. 3.	14h09,1m	+10°43,1'	8,0	143,8
23. 3.	14h07,0m	+12°26,5'	7,9	147,4
28. 3.	14h04,4m	+14°08,0'	7,9	150,2
2. 4.	14h01,2m	+15°45,8'	7,9	151,9



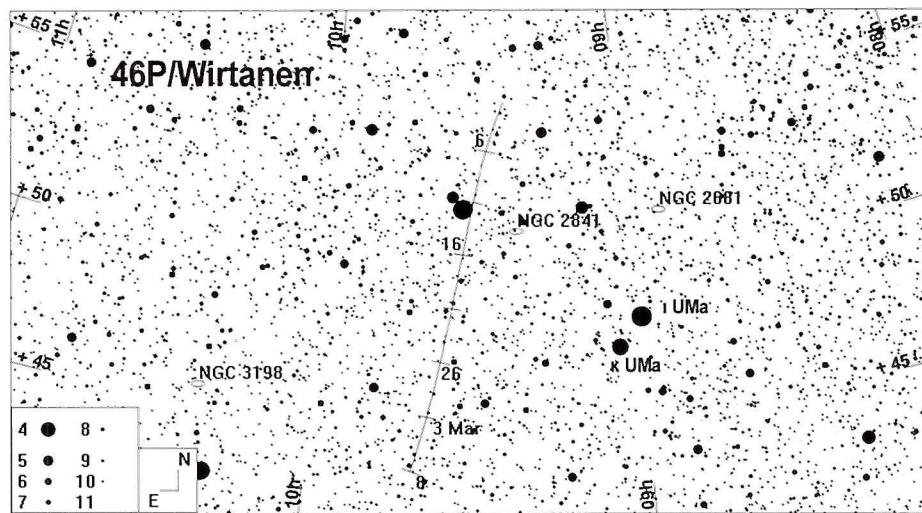
Efemerida kométy 46P/Wirtanen

Dátum	RA(2000)	D(2000)	mag	el.
1. 2.	09h24,2m	+54°59,5'	7,9	141,9
6. 2.	09h28,0m	+53°28,9'	8,3	142,3
11. 2.	09h30,7m	+51°53,6'	8,8	142,4
16. 2.	09h32,8m	+50°14,8'	9,2	142,1
21. 2.	09h34,8m	+48°33,9'	9,6	141,4
26. 2.	09h36,8m	+46°51,7'	10,0	140,2
3. 3.	09h39,0m	+45°09,3'	10,3	138,7
8. 3.	09h41,6m	+43°27,1'	10,7	136,9



Efemerida (405) Thia

Dátum	RA(2000)	D(2000)	mag	el.
3. 3.	13h39,9m	-29°25,0'	11,5	125,8
8. 3.	13h41,1m	-29°51,7'	11,4	129,9
13. 3.	13h41,3m	-30°10,9'	11,2	134,2
18. 3.	13h40,8m	-30°21,8'	11,1	138,6
23. 3.	13h39,5m	-30°23,7'	11,0	143,0
28. 3.	13h37,5m	-30°16,0'	10,9	147,5
2. 4.	13h34,8m	-29°58,2'	10,8	151,9



Asteroidy

V opozícii budú jasnejšie ako 11 mag: (532) Herculina (6.2.; 8,9 mag), (48) Doris (9.2.; 11,0 mag), (129) Antigone (19.2.; 10,7 mag), (349) Dembowska (26.2.; 10,3 mag), (64) Angélina (2.3.; 10,4 mag), (385) Ilmatar (17.3.; 10,6 mag), (17) Thetis (24.3.; 10,6 mag).

Najjasnejšia bude (2) Pallas, ktorá koncom marca dosiahne 7,9 mag. Podobnú jasnosť dosiahne aj (4) Vesta, no tá je 10. 3. v konjunkcii so Slnkom a teda nepozorovateľná.

Kométy

7. 11. bola prvý raz po 8 rokoch vizuálne objavená nová kométa C/2018 V1 (Machholz-

Fujikawa-Iwamoto). Pri objave mala okolo 11 mag, no v priebehu týždňa zjasnela o 3 mag. Pred koncom novembra už mala asi 7 mag a bola vidieť aj v triédroch. Najbližšie k Zemi (0,67 AU) bola 27. 11. a perihéliom prešla vo vzdialenosťi 0,38 AU. Koncom novembra bola pozorovateľná ráno nízko nad obzorom, neskôr sa stratila na presvetlenej oblohe, presunula sa na večernú oblohu, no jej jasnosť rýchlo klesala.

38P/Stephan-Oterma dosiahla 9 mag, je sice takmer počas celého obdobia cirkumpolárna, no začiatkom februára bude mať už takmer 12 mag.

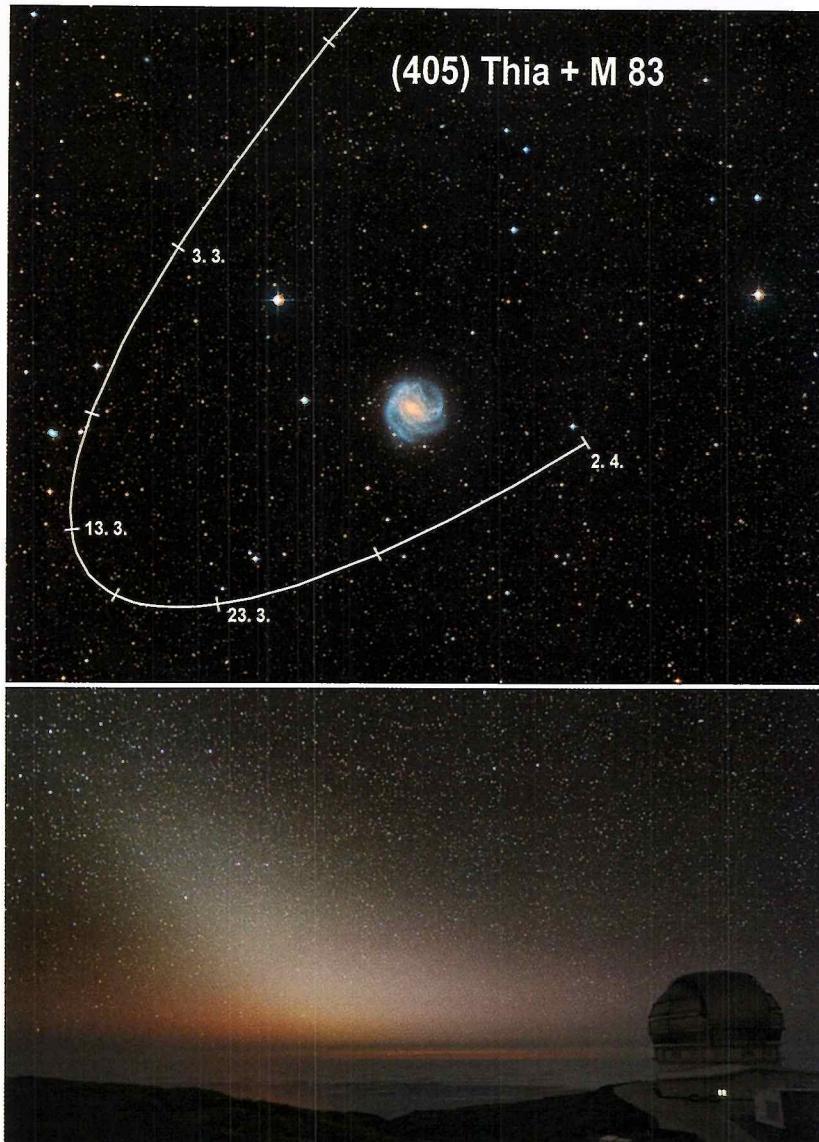
Potešením pre pozorovateľov teda ostáva as-

poň periodická kométa 46P/Wirtanen, no aj tu sú už najlepšie podmienky za nami. Na tmevej oblohe ju bolo vidieť aj bez ďalekohľadu. Do polovice marca je cirkumpolárna, no už koncom februára aj ona zoslabne pod 10 mag.

Meteory

Pred nami sú dva mesiace, v priebehu ktorých nie je v činnosti nijaký aktívnejší meteorický roj. Toto obdobie sa nazýva aj „Veľká jarná diera“, ktorá začína Kvadrantidami a končí až aprílovými Lyridami.

(405) Thia + M 83



Zodiakálne svetlo na La Palme, foto: A. Cherney

Okolo jarnej rovnodeností sa večer dá pozorovať zodiakálne (zvieratníkové) svetlo, napokialko v tomto období je sklon ekliptiky k obzoru najväčší. Vzniká rozptylom slnečného svetla na drobných čiastočkách prachu v medziplanetárnom priestore, ktorého najväčšia koncentrácia je práve v rovine ekliptiky. U nás ho uvidíme po západe Slnka ako slabý kužeľ svetla vystupujúci od obzoru pozdĺž ekliptiky.

Kalendár úkazov (február – marec 2019)

dátum	SEČ
2.2.	7,2 konjunkcia (zákryt) Saturna Mesiacom (Saturn 0,2° N)
4.2.	22,1 Mesiac v nove
5.2.	10,5 Mesiac v odzemí (406 552 km)
6.2.	asteroid (532) Herculina v opozícii (8,9 mag)
7.2.	8,3 konjunkcia Neptúna s Mesiacom (Neptún 3,8° N)
8.2.	asteroid (48) Doris v opozícii (11,0 mag)
10.2.	22,7 konjunkcia Marsu s Mesiacom (Mars 6,1° N)
11.2.	1,4 konjunkcia Uránu s Mesiacom (Urán 5,3° N)
12.2.	23,4 Mesiac v prvej štvrti
13.2.	6,7 konjunkcia Marsu s Uránom (Mars 1,0° N)
17.2.	asteroid (129) Antigone v opozícii (10,7 mag)
18.2.	13,4 konjunkcia Venuše so Saturnom (Venuše 1,1° N)
19.2.	6,3 konjunkcia Merkúra s Neptúnom (Merkúr 0,7° N)
19.2.	10,0 Mesiac v prízemí (356 763 km)
19.2.	16,9 Mesiac v splne
25.2.	9,0 Merkúr v príslni (0,3075 AU)
26.2.	12,5 Mesiac v poslednej štvrti
27.2.	asteroid (349) Dembowska v opozícii (10,3 mag)
27.2.	2,1 Merkúr v najväčšej východnej elongácii (18,1°)
27.2.	16,4 konjunkcia Jupitera s Mesiacom (Jupiter 1,8° S)

1.3.	19,7 konjunkcia (zákryt) Saturna Mesiacom (Saturn 0,2° N)
2.3.	22,4 konjunkcia Venuše s Mesiacom (Venuše 1,6° N)
2.3.	asteroid (64) Angelina v opozícii (10,4 mag)
4.3.	12,5 Mesiac v odzemí (406 388 km)
5.3.	6,5 Merkúr v zastávke, začína sa pohybovať spätnie
6.3.	17,1 Mesiac v nove
7.3.	22,0 Neptún najďalej od Zeme (30,929 AU)
10.3.	8,1 konjunkcia Uránu s Mesiacom (Urán 5,4° N)
11.3.	18,4 konjunkcia Marsu s Mesiacom (Mars 5,9° N)
14.3.	11,5 Mesiac v prvej štvrti
15.3.	2,8 Merkúr v dolnej konjunkcii
17.3.	asteroid (385) Ilmatar v opozícii (10,6 mag)
18.3.	8,7 Merkúr najbližšie k Zemi (0,6091 AU)
19.3.	20,8 Mesiac v prízemí (359 378 km)
20.3.	23,0 začiatok astronomickej jari
21.3.	2,7 Mesiac v splne
22.3.	asteroid (17) Thetis v opozícii (10,6 mag)
27.3.	12,7 Merkúr v zastávke, začína sa pohybovať priamo
27.3.	3,3 konjunkcia Jupitera s Mesiacom (Jupiter 1,1° S)
28.3.	5,2 Mesiac v poslednej štvrti
29.3.	5,7 konjunkcia so Saturna s Mesiacom (Saturn 0,9° N)

Slnko							
				súmrak			
		občiansky		nautický		astronomický	
vých.	záp.	zač.	kon.	zač.	kon.	zač.	kon.
1.2.	7:09	16:38	6:35	17:12	5:58	17:50	5:22
6.2.	7:02	16:46	6:29	17:20	5:52	17:57	5:16
11.2.	6:54	16:55	6:22	17:27	5:45	18:04	5:09
16.2.	6:46	17:03	6:14	17:35	5:38	18:11	5:01
21.2.	6:37	17:11	6:05	17:43	5:29	18:19	4:53
26.2.	6:28	17:19	5:57	17:50	5:21	18:26	4:44
3.3.	6:18	17:27	5:47	17:58	5:11	18:34	4:34
8.3.	6:08	17:34	5:38	18:05	5:01	18:41	4:24
13.3.	5:58	17:42	5:27	18:13	4:51	18:49	4:14
18.3.	5:48	17:49	5:17	18:20	4:40	18:57	4:03
23.3.	5:38	17:57	5:07	18:28	4:29	19:05	3:52
28.3.	5:28	18:04	4:56	18:35	4:18	19:13	3:40

Mesiac		Jupiter			
východ	západ	východ	západ		
1.2.	4:46	13:34	1.2.	3:49	12:16
6.2.	8:01	18:20	6.2.	3:33	12:00
11.2.	9:54	23:41	11.2.	3:17	11:43
16.2.	13:08	4:15	16.2.	3:01	11:27
21.2.	19:38	7:53	21.2.	2:44	11:10
26.2.	0:35	10:13	26.2.	2:28	10:52
3.3.	5:02	14:09	3.3.	2:11	10:35
8.3.	7:15	19:23	8.3.	1:54	10:17
13.3.	9:23		13.3.	1:37	10:00
18.3.	14:23	4:39	18.3.	1:19	9:42
23.3.	21:03	7:11	23.3.	1:00	9:23
28.3.	1:30	10:12	28.3.	0:42	9:05

Merkúr		Saturn			
východ	západ	východ	západ		
1.2.	7:28	16:38	1.2.	5:46	14:14
6.2.	7:28	17:09	6.2.	5:28	13:57
11.2.	7:26	17:42	11.2.	5:10	13:40
16.2.	7:20	18:13	16.2.	4:52	13:23
21.2.	7:11	18:41	21.2.	4:34	13:06
26.2.	6:57	18:59	26.2.	4:16	12:48
3.3.	6:38	19:01	3.3.	3:58	12:31
8.3.	6:13	18:42	8.3.	3:40	12:13
13.3.	5:46	18:04	13.3.	3:22	11:55
18.3.	5:21	17:17	18.3.	3:03	11:38
23.3.	5:00	16:35	23.3.	2:44	11:19
28.3.	4:45	16:06	28.3.	2:25	11:01

Venuša		Uran			
východ	západ	východ	západ		
1.2.	4:19	13:05	1.2.	9:51	23:33
6.2.	4:26	13:08	6.2.	9:32	23:14
11.2.	4:31	13:13	11.2.	9:12	22:55
16.2.	4:35	13:19	16.2.	8:53	22:36
21.2.	4:38	13:27	21.2.	8:33	22:17
26.2.	4:40	13:36	26.2.	8:14	21:59
3.3.	4:40	13:46	3.3.	7:55	21:41
8.3.	4:39	13:57	8.3.	7:36	21:22
13.3.	4:37	14:08	13.3.	7:17	21:04
18.3.	4:34	14:20	18.3.	6:57	20:45
23.3.	4:29	14:33	23.3.	6:38	20:27
28.3.	4:24	14:46	28.3.	6:19	20:09

Mars		Neptún			
východ	západ	východ	západ		
1.2.	9:31	22:55	1.2.	8:28	19:32
6.2.	9:17	22:54	6.2.	8:09	19:13
11.2.	9:04	22:53	11.2.	7:50	18:54
16.2.	8:51	22:52	16.2.	7:31	18:36
21.2.	8:38	22:52	21.2.	7:11	18:17
26.2.	8:25	22:51	26.2.	6:52	17:59
3.3.	8:13	22:50	3.3.	6:32	17:40
8.3.	8:01	22:49	8.3.	6:13	17:21
13.3.	7:50	22:48	13.3.	5:54	17:03
18.3.	7:38	22:47	18.3.	5:35	16:44
23.3.	7:27	22:46	23.3.	5:16	16:25
28.3.	7:17	22:44	28.3.	4:56	16:07

Jednoduché astronomické výpočty

7. diel

V tejto časti seriálu určenému pre žiakov druhého stupňa ZŠ sa bude venovať jasnostiam hviezd.

Každý, kto sa niekedy pozrel na oblohu si všimol, že niektoré hviezdy sú jasné, výrazne, iné sú menej jasné a tie najslabšie ledva vidíme. Aby bolo možné hviezdy nejakým spôsobom porovnať, zaviedla sa veličina, ktorú nazývame jasnosť hviezd.

Pôvodne išlo o čisto subjektívne rozdelenie hviezd do piatich kategórií podľa jasnosti, teda podľa toho, na kolko jasné sa javia pozorovateľovi zo Zeme. Toto urobil už Hipparchos vo svojom katalógu hviezd z roku 129 pred n. l. Kategórie označil číslami 1, 2, 3, 4, 5. S rozvojom astronómie sa zistilo, že toto delenie je pomerne vhodné, a tak sa jasnosť hviezd začala uvádzat v takzvaných magnitúdach, teda tak, ako sa napríklad dĺžka udáva v metroch alebo centimetroch. Magnitúda teda znamená (aspōn v slovenčine) jednotku jasnosti hviezd, nie veľičinu samotnú. Tá sa správne nazýva jasnosť (pozor, v anglickej literatúre sa pojmom magnitude môže označovať aj veľičina aj jednotka). Ak si predstavíme pravítko, tak jeho meradlo sa začína nulou a postupne rovnomerne pribúdajú na ňom dĺžkové jednotky (centimetre). Samozrejme, existujú aj menšie jednotky dĺžky (milimetre, teda desatiny centimetra) a pod. Väčšie číslo na pravítku položenom nulou na začiatku meranej časti predmetu znamená väčšiu dĺžku v centimetroch. Stupnica jasnosti sa v niečom veľmi podobá a v niečom veľmi odlišuje od takejto stupnice na pravítku.

Prvý rozdiel je ten, že na stupnici jasnosti postupujeme opačným smerom! Čím je hvieza jasnejšia, tým má hodnota jasnosti vyjadrená v magnitúdach nižšiu hodnotu. Najjasnejšie hviezdy na oblohe majú jasnosť asi 0 magnitúd, tie najslabšie viditeľné volným okom asi 6 magnitúd. Slnko, Mesiac a niektoré planéty sú zvyčajne jasnejšie ako najjasnejšie hviezdy, preto musia mať zápornú jasnosť. Napríklad Venuša dosahuje jasnosť až -4 magnitúdy, Mesiac v splne -12 a Slnko takmer -27 magnitúd. Inak je stupnica jasnosti podobná dĺžkovej, teda hviezdy líšiace sa o jednu magnitúdu sa nám javia zakaždým o rovnaký diel (alebo stupeň) slabšie. Napríklad rozdiel jasnosti medzi hviezdom 2 mag a 3 mag sa nám zdá rovnaký ako rozdiel medzi hviezdam 4 mag a 5 mag. Mag je skratka jednotky jasnosti hviezd, magnitúdy. Rovnako aj tu môžeme používať desatiny, stotiny a iné zlomky magnitúdy, podobne ako pri dĺžkovej miere.

Treba zdôrazniť, že táto stupnica sa nám javí ako rovnomená, postupne narastajúca alebo klesajúca. Túto vlastnosť stupnice nazývame slovom lineárna. Fyzikálna veľičina, ktorá nám hovorí, koľko svetla (svetelného toku; jednotka lúmen) dopadne zo zdroja svetla na jeden meter štvorcový plochy postavenej kolmo na svetelné lúče, sa nazýva osvetlenie (môžete sa stretnúť aj s pojмami intenzita osvetlenia alebo hustota svetelného toku).

Jednotkou osvetlenia je lux (značka lx). Predstavme si jednu žiarovku. Vo vzdialosti 3 metre od žiarovky nech je osvetlenie 200 luxov (žiarovka

osvetluje jednotku plochy 200 luxami). Ak použijeme dve takéto žiarovky tesne vedľa seba, bude osvetlenie vo vzdialosti 3 metre 400 luxov. Keby sme použili 3 žiarovky, bolo by to 600 luxov, a tak ďalej. Z tohto hľadiska je stupnica osvetlení lineárna, teda pribúda rovnomerne.

Pri meraní osvetlenia vyvolaného hviezdami s jasnosťami 0,1,2,3,4,5... magnitúd sa zistilo, že nimi spôsobené osvetlenie neklesá rovnomerne, napríklad: 1,0 lx, 0,9 lx, 0,8 lx..., ale takto: 0,0000063 lx, $\frac{0,0000063}{2,512}$ lx, $\frac{0,0000063}{2,512 \cdot 2,512}$ lx, $\frac{0,0000063}{2,512^2}$ lx, a tak ďalej. Osvetlenie neklesá o konštantnú hodnotu (danú rozdielom osvetlení pri zmene magnitúdy o jednotku), ale s konštantným násobkom (v uvedenom prípade sa pri zmene magnitúdy o jednotku, zmení osvetlenie $\frac{1}{2,512}$ -krát). Takéto stupnice, klesajúce s rovnakým násobkom, sa volajú logaritmické.

Meraním sa zistilo, že hviezdy jasnosti 0 magnitúd spôsobujú 100-krát väčšie osvetlenie ako hviezdy s jasnosťou 5 magnitúd. Zatiaľ teda vieme ľahko vypočítať, že ak je rozdiel jasností dvoch hviezd 5 magnitúd, tak osvetlenia nimi vyvolané sú v pomere 1:100. Napríklad Venuša pri jasnosti -4 magnitúdy vyvolá 100-kát väčšie osvetlenie ako hvieza s jasnosťou 1 magnitúda, lebo rozdiel jasností medzi 1 a -4 je 5 magnitúd a teda osvetlenie vyvolané jasnejším telesom (Venuša, lebo $-4 < 1$) je 100-krát väčšie ako osvetlenie vyvolané hviezdom jasnosti 1 magnitúda. Samozrejme, jednotlivé objekty môžu dosahovať jasnosť aj s iným rozdielom ako je 5 magnitúd a tak potrebujeme nájsť spôsob ako s nimi pracovať. Na strednej škole sa naučíte počítať s tzv. logaritmami, ktoré sa hodia na tieto výpočty.

Táto problematika však značne prekračuje učivo základnej školy, preto si musíme nájsť iný spôsob výpočtu. Tento problém vyriešime pomocou mocnín (pozri 1. diel seriálu). Ako sme povedali, ak je rozdiel jasností dvoch hviezd 5 magnitúd, tak jasnejšia hvieza vyvoláva 100-krát väčšie osvetlenie ako slabšia hvieza. Ak chceme vedieť, koľkokrát väčšie osvetlenie spôsobí hvieza o 1 magnitúdu jasnejšia ako druhá hvieza, vyjdeme z nasledovnej úvahy. Ak je rozdiel jasnosti hviezd jedna magnitúda, osvetlenia sa lišia x -násobne, pričom x musíme určiť. Ak je rozdiel jasností hviezd 2 magnitúdy, osvetlenia sa lišia $x \cdot x$ -násobne, teda x^2 -násobne. Ak je rozdiel jasností hviezd 5 magnitúd, tak sa osvetlenia lišia x^5 -násobne. To ale znamená, že musí platiť $x^5 = 100$. To sa matematicky vypočíta ako piata odmocnina zo 100, teda $\sqrt[5]{100} = 2,511\ 886\dots$ Nám pre výpočty bude postačovať zaokruhlená hodnota 2,512. Urobme skúšku správnosti, či naozaj $2,512^5$ sa rovná 100. Umocnime $2,512^5 = 100,022\ 608\dots$ Vidíme, že rozdiel je na druhom desatinnom mieste. Preto môžeme pre naše účely považovať osvetlenie vyvolané hviezdom o magnitúdu jasnejšej $2,512$ -krát väčšie, ako je osvetlenie vyvolané slabšou hviezdom. Na ZŠ počítame iba s celočíselnými exponentmi, ale na každej lepšej kalkulačke sa môžete presvedčiť, že je možné použiť aj exponent aj desatinné číslo. Označme osvetlenie vyvolané hviezdom s magnitúdou m_1 symbolom E_1 a osvetlenie vyvolané hviezdom s magnitúdou m_2 ako E_2 . Zovšeobecníme predchádzajúcu úvahu. Ak je rozdiel magnitúd $m_2 - m_1$, tak sa osvetlenia lišia $x^{m_2 - m_1}$ -násobne. Teraz si už konečne môžeme vytvoriť vzťah medzi jasnostami dvoch hviezd a osvetleniami, ktoré vylučujú:

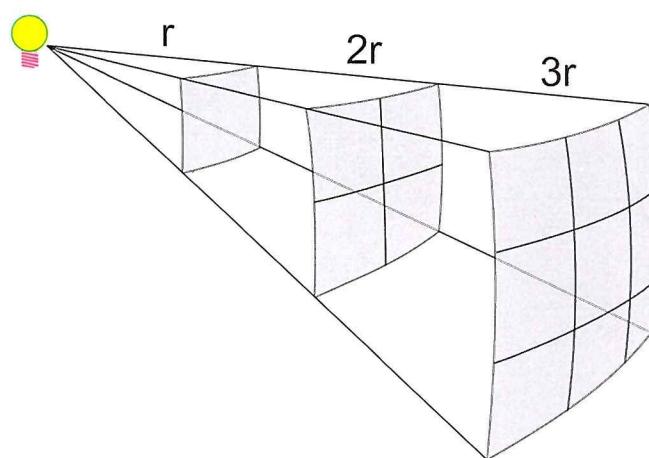
$$E_1 = E_2 \cdot 2,512^{m_2 - m_1} \text{ alebo } \frac{E_1}{E_2} = 2,512^{m_2 - m_1}.$$

Slovne to znamená, že pomer (podiel) osvetlení E_1 vyvolaného hviezdom s jasnosťou m_1 a osvetlenia E_2 vyvolaného hviezdom s jasnosťou m_2 sa rovná číslu 2,512 umocnenému na rozdiel jasností týchto hviezd $m_2 - m_1$. Poradie m_1 a m_2 je vymenené preto, že jasnejším objektom zodpovedá menšia hodnota jasnosti.

Pre úplnosť uvedieme tzv. Pogsonovu rovnicu:

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log \frac{E_1}{E_2}$$

Tento vzorec vyjadruje to isté, len matematická forma je iná. Dodajme, že číslo 2,512 je len približná hodnota $\sqrt[5]{100}$. Číslo 2,5 v Pogsonovej rovnici je správne, vyplýva z definície a neslobodno si tieto dve čísla zamieňať! Na grafe je znázornená táto závislosť medzi rozdielmi jasností a podielom osvetlení. Graf znázorňuje vždy zodpovedajúcu dvojicu hodnôt, rovnako, ako by sme ich vypočítali pomocou kalkulačky. Na vodorovnej osi si nájdeme príslušný rozdiel jasností objektov v magnitúdach a postupujeme po príslušnej zvislej čiare, až kým sa nepretne s čiarou (krivkou) grafu. Z tohto priesčníka postupujeme dolava, aby sme od-



Obr. 1. Všimnite si, že osvetlenie klesá s druhou mocninou vzdialenosť od zdroja, pretože vyziarené svetlo (žiarivá energia) dopadá pri väčšej vzdialenosť na väčšiu plochu.

čítali pomer osvetlení vyvolaných týmito hviezdami.

Príklad:

Vypočítajte pomer osvetlení vyvolaných Slnkom s jasnosťou $m_1 = -26$ magnitúd a Mesiacom v splne s $m_2 = -13$ magnitúd.

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{m_2 - m_1} = 2,512^{(-13) - (-26)} = 2,512^{13}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{(26-13)} = 2,512^{13} = 158\,582,5.$$

Slnko vyvoláva asi 160 000-krát väčšie osvetlenie ako Mesiac v splne. Teraz si vezmieme dvojhviezdu, ktorá má zložky 5,5 mag a 7,5 mag, ktoré rozlíšime v ďalekohľade, ale voľným okom nie. Akú jasnosť bude mať táto dvojhviezda, ak ju budeme pozorovať voľným okom? Je jasné, že nemôžeme jednoducho sčítať jasnosti hviezd, lebo by sme dostali $5,5 + 7,5 = 13$, čo je hvieza oveľa slabšia ako jasnejšia hvieza. Musíme teda spočítať osvetlenia z jednotlivých zložiek, lebo naše oči bude súčasne osvetľovať aj jedna aj druhá hvieza. Keďže budú už okom nerozlišiteľné, budeme ich vnímať ako jednu jasnejšiu hviezdu.

Osvetlenie spôsobené hviezdou 5,5 mag je E_1 , hviezdou 7,5 mag je E_2 , pričom platí

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)} = 2,512^{(7,5 - 5,5)} = 2,512^2 = 6,31$$

z toho po ekvivalentných úpravách do-

stávame $E_1 = 6,31 E_2$.

Spoločné osvetlenie

$$E = E_1 + E_2 = 6,31 E_2 + E_2 = 7,31 E_2.$$

Teraz vieme, že dvojhviezda vytvorená z dvojice hviezd s magnitúdami m_1 a m_2 bude vyvolávať osvetlenie 7,31-krát väčšie ako vyvolá jedna zložka sústavy – hvieza s jasnosťou m_2 . Ich spoločnú jasnosť označíme m .

Keď použijeme nás vzťah medzi pomerom osvetlení a rozdielom jasností a dosadíme hodnoty dostaneme:

$$\frac{E}{E_2} = 2,512^{(m_2 - m)}$$

$$\frac{E}{E_2} = 7,31 \quad \frac{E_1}{E_2} = 7,31 = 2,512^{(7,5 - m)}$$

Pre zjednodušenie si označme $(7,5 - m)$ ako x . Teda $(7,5 - m) = x$ (takáto náhrada jedného výrazu druhým, zvyčajne jednoduchším, sa v matematike nazýva substitúcia, čo je cudzie slovo s významom nahradenie). Potom našu rovnici prepíšeme do tvaru: $7,31 = 2,512^x$.

Na výpočet x by sme potrebovali už zmienené logaritmy, ale keďže nepožadujeme úplne presné hodnoty, môžeme nájsť výsledok skusmo na kalkulačke. Vieme, že to bude číslo väčšie ako 2, lebo sme už vyššie vypočítali, že $2,512^2 = 6,31$. Urobíme si teda tabuľku a budeme do kalkulačky postupne zadávať čísla:

$$2,0 \dots 2,512^{2,0} = 6,31,$$

$$2,1 \dots 2,512^{2,1} = 6,91,$$

$$2,2 \dots 2,512^{2,2} = 7,59,$$

Vidíme, že hľadané číslo je niekde medzi 2,1 a 2,2. Ak takáto presnosť nepostačuje, môžete pokračovať v hľadaní medzi 2,1 a 2,2 tak, že budete postupne zadávať čísla 2,11; 2,12; ... 2,20.

Dostali by ste sa k číslu 2,16, lebo $2,512^{2,16} = 7,31$.

Teda $x = 2,16$ a ako sme si označili

$$x = 7,5 - m$$

$$\text{Z toho } m = 7,5 - 2,16 = 5,34.$$

$$\text{Teda } m = 5,34 \text{ mag.}$$

Bez kalkulačky, pomocou grafu, by sa postupovalo nasledovne:

Rozdiel jasností hviezd 5,5 mag a 7,5

mag je 2 magnitúdy. Na vodorovnej osi si nájdeme hodnotu rozdielu 2 magnitúdy a postupujeme po tejto zvislej čiare siete smerom hore, kým nenašrime na priesčnik tejto čiary s grafom. Od tohto priesčinku teraz došrime na stupnicu. Tu (medzi 6,0 a 6,5) odčítame približne 6,3. Teda jasnejšia zložka vyvoláva 6,3-krát väčšie osvetlenie ako slabšia zložka $E_1 = 6,3 E_2$. Osvetlenie obidvoma hviezdami je

$$E = E_1 + E_2 = E_2 + 6,3 E_2 = 7,3 E_2, \text{ alebo } E/E_2 = 7,3.$$

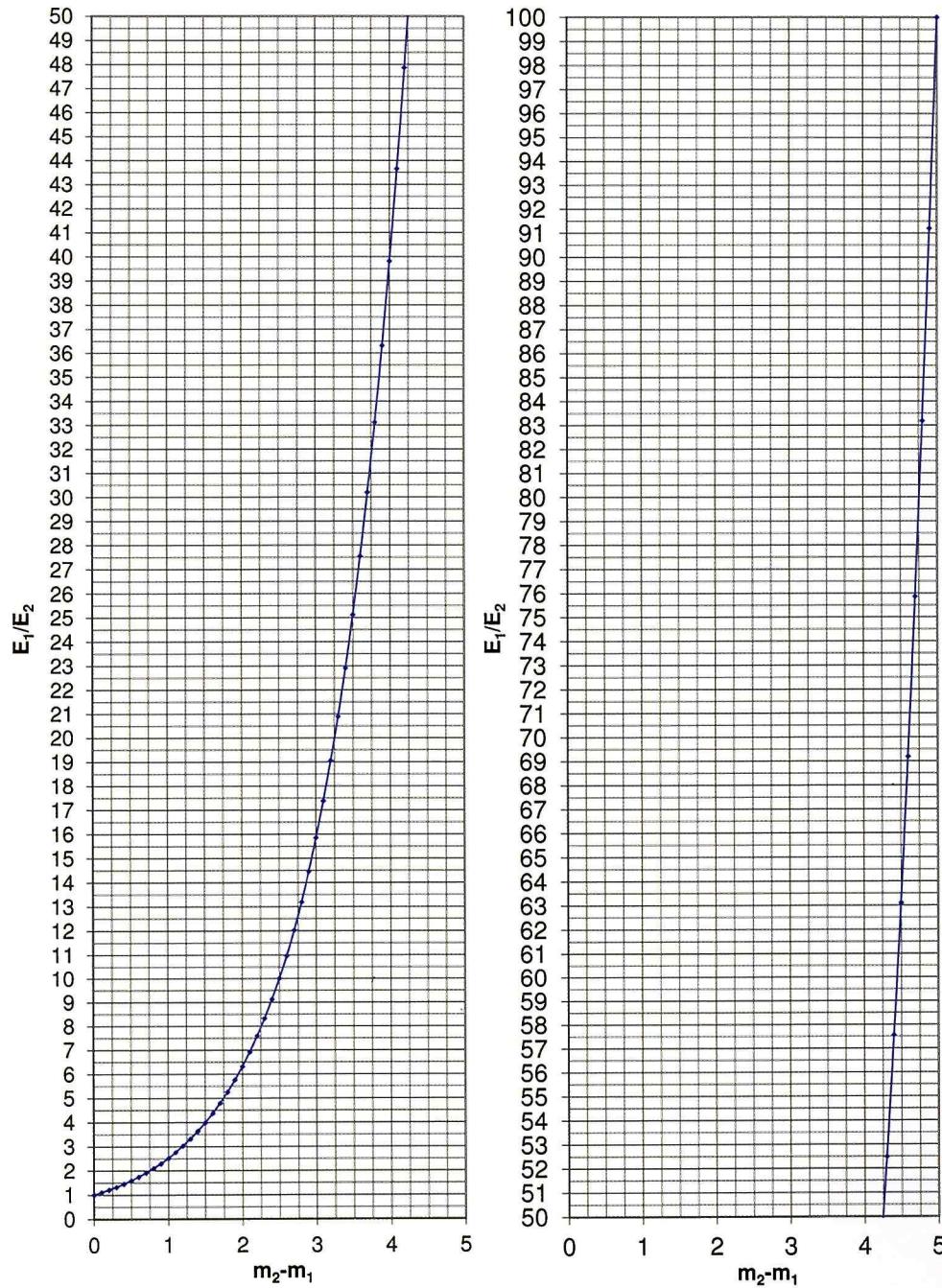
Na zvislej stupnici si nájdeme podiel osvetlení $E/E_2 = 7,3$ (medzi 7,0 a 7,5) a postupujeme doprava ku grafu. Odšrial postupujeme dole po najbližšej zvislej čiare siete na stupnicu, kde odčítame hodnotu 2,2 (takmer pri hodnote 2,25). Takže jasnosť dvojhviezdy je o 2,2 magnitúdy vyššia ako jasnosť slabšej zložky, teda $m_2 - m = 2,2 \text{ mag}$

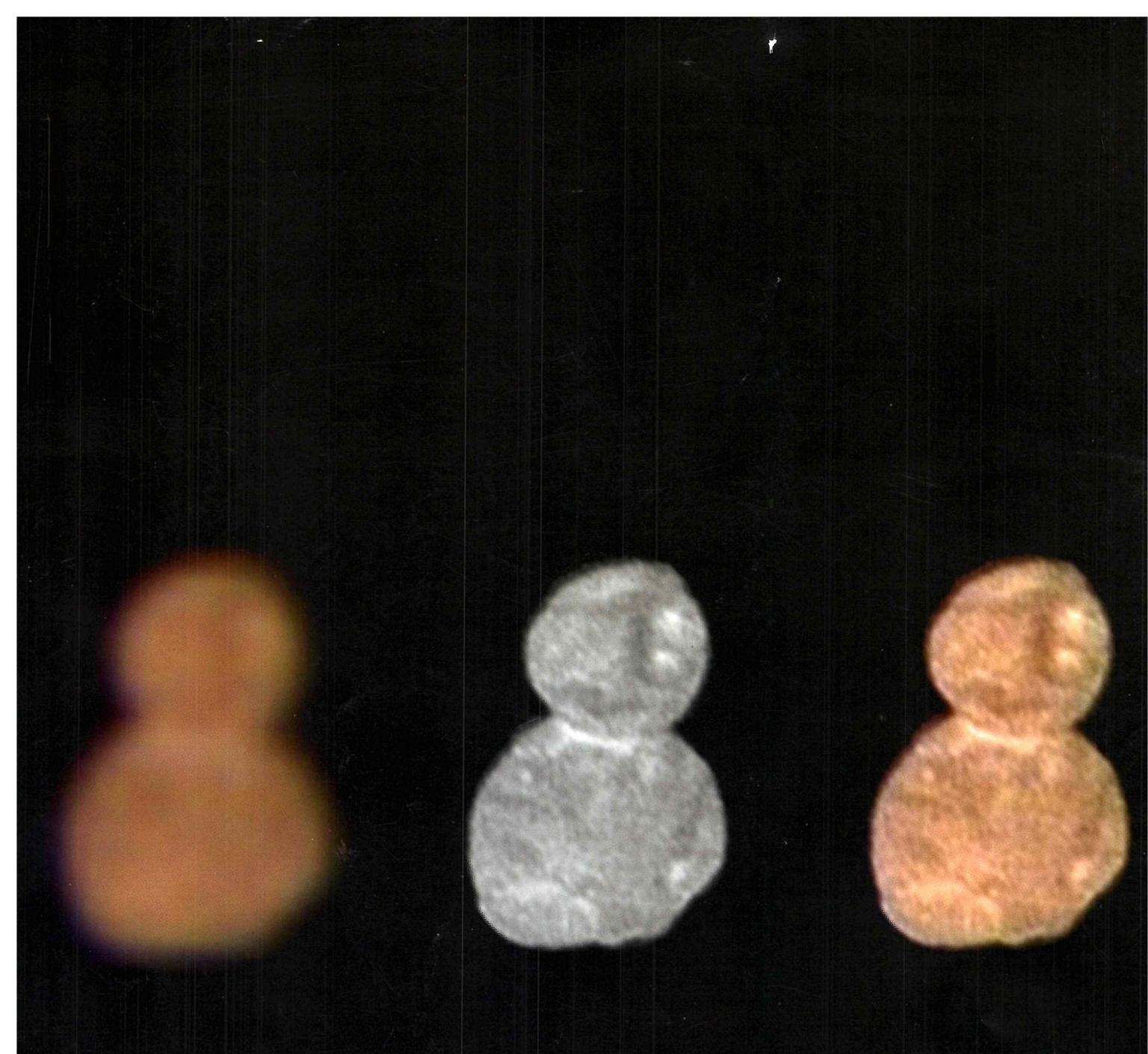
$$7,5 \text{ mag} - m = -2,2 \text{ mag}, \text{ z toho } m = 7,5 \text{ mag} - 2,2 \text{ mag}$$

$$\text{a teda } m = 5,3 \text{ mag.}$$

S grafom je možné pracovať aj trochu presnejšie, ak použijeme pravítka a nebudeme postupovať len po narysovaných čiarach, ale pomocou pravítka si nakreslíme vlastné zvislé a vodorovné čiary podľa potreby.

Peter Dolinský, SÚH Hurbanovo





Sonda NASA New Horizons poslala na Zem úchvatný novoročný pozdrav. Je na ňom asteroid Ultima Thule, 33-kilometrový obyvateľ Kuiperovho pásu. Tento čudesný vesmírny snehuliak, odfotografovaný z diaľky 137 000 kilometrov, je najvzdialenejším objektom, aký sme doteraz mohli takto podrobne vidieť. Vedci predpokladajú, že Ultima a menší Thule vznikli už na úsvite formovania Slnčnej sústavy. Najskôr sa pospájali zhluky malých ľadových telies a potom sa k sebe doslova prilepili dva väčšie objekty, pričom neprebehla nijaká kolízia. Nadšení vedci sa tešia na ďalšie štúdium zaujímavého objektu, pohybujúceho sa vyše 6,5 miliardy kilometrov od Slnka, ktorý je podľa nich „skutočným stelesnením začiatku vzniku planéty, zmrzánym v čase“ (Jeff Moore, vedúci geologického tímu sondy New Horizons).